

**Sílvio Rafael Aguiar das Neves**

**ESTUDO DA DESMONTAGEM DE UM  
REFRIGERADOR DOMÉSTICO**

Dissertação apresentada ao  
Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia de Produção da  
Universidade Federal de Santa  
Catarina como requisito parcial  
para obtenção do grau de Mestre  
em Engenharia de Produção

Orientadora: Profa. Ingeborg Sell, Dr. rer. nat.

**Florianópolis**

**2002**

**Sílvia Rafael Aguiar das Neves**

**ESTUDO DA DESMONTAGEM DE UM REFRIGERADOR DOMÉSTICO**

Esta dissertação foi julgada e aprovada para a obtenção do grau de  
**Mestre em Engenharia de Produção** no **Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção** da **Universidade Federal de Santa Catarina**.

**Florianópolis, 15 de maio de 2002.**

**Banca Examinadora:**

---

**Prof. Ricardo Miranda Barcia, PhD.**  
**Coordenador do Curso de Pós-Graduação**

---

**Profa. Ingeborg Sell, Dr. rer. nat**  
**(Orientadora)**

---

**Prof. Osmar Possamai, Dr.**

---

**Prof. Nelson Back, Dr.**

Aos meus pais, Luciano e Olinda e a minha  
esposa, Solange, pelo apoio constante.

## AGRADECIMENTOS

Aos meus amigos e parentes de Florianópolis que fizeram que,  
em minha passagem pela cidade, eu me sentisse como se  
estivesse em minha terra natal, Belém do Pará.

Aos meus pais, que não mediram esforços para a realização  
deste mestrado.

A minha esposa que me apoiou incondicionalmente em todos os  
momentos.

Ao meu irmão que apoiou e incentivou a realização desta  
pesquisa.

Ao amigo Hallthmann pelo companheirismo e paciência durante  
a realização da pesquisa.

A MULTIBRAS que forneceu o refrigerador para a realização  
do estudo.

A WEG AUTOMAÇÃO que apoiou a realização desta  
pesquisa.

A Professora Ingerborg Sell que apoiou e orientou a realização  
desta pesquisa.

A todos que contribuíram com a realização desta pesquisa.



## RESUMO

Este trabalho sintetiza um estudo acerca da disposição dos produtos manufaturados no final do seu ciclo de vida. Seguindo esta linha, analisa a desmontabilidade de um refrigerador doméstico.

Para viabilizar o estudo buscou-se uma parceria com a MULTIBRAS, empresa fabricante de refrigeradores das marcas CONSUL e BRASTEMP. A empresa forneceu um refrigerador da marca CONSUL para que fossem feitas a desmontagem e a análise das suas dificuldades.

A análise das dificuldades tomou como base os conceitos envolvidos no Projeto para o Meio Ambiente, o Projeto para a Reciclagem e Projeto para Desmontagem. Conceitos relacionados à Avaliação do Ciclo de Vida do Produto baseada na norma ISO 14.040 foram levados em consideração para evidenciar a responsabilidade do fabricante em todas as fases de existência do produto, a chamada responsabilidade "Do Berço ao Túmulo".

Outros aspectos como a mudança do padrão de consumo, as pressões governamentais e as exigências da sociedade contribuem com a evolução do pensamento ambiental que, em breve, deve começar a nortear os projetos de produtos para uma linha mais comprometida com a totalidade do Ciclo de Vida do produto.

As fases da desmontagem do produto foram relatadas, juntamente com as dificuldades de desmontagem de cada uma. Foi feito um comparativo de tempos entre o processo manual de desmontagem, utilizado nesse estudo e um processo que utilize ferramentas elétricas ou pneumáticas.

Ao final da desmontagem, cada material foi agrupado, pesado e valorado, de acordo com os preços de mercado. Esta análise, em conjunto com a análise dos tempos de desmontagem, mostra a viabilidade econômica da desmontagem sistematizada do produto, que, juntamente com a necessidade ambiental, conduzem os novos projetos à facilitação das desmontagens.

Palavras-chave: Projeto para o meio ambiente. Projeto para a reciclagem.

Projeto para a desmontagem.

## ABSTRACT

This work synthesizes a study concerning the disposal of the manufactured products in the end of its life cycle. Following this point, it analyzes the domestic refrigerator's disassemblability.

To make the study possible, a partnership with the MULTIBRAS were searched, the company produces refrigerators of the marks CONSUL and BRASTEMP. The company concided a refrigerator of the mark CONSUL to make the dismount and the analysis of its difficulties.

The analysis of the difficulties took as base the concepts related to Project for Environment, Project for Recycling and Project for Disassembly. Concepts related to Life Cycle Assessment of the Product based on norm ISO 14.040 had been taken in consideration to evidence the manufacturer's responsibility in every phase of product's existence, the responsibility "From the Cradle to the Tomb".

Other aspects as the change of the consumption's standard, the governmental pressures and the requirements of the society contribute for the evolution of the environmental thought that, in briefing, must starts to more guide the projects of products for a line compromised with the totality of the product's Life Cycle.

The product's disassembly phase were related with the difficulties of it. It was made a comparative of times between the manual process of dismount, used in this study and the process that uses electric or pneumatic tools.

To the end of the disassembly, each material was grouped, weighed and valued, in accordance with the market prices. This analysis and the dismount times' analysis shows the economic viability of the systemize disassembly of the product, that, with the environmental necessity, bring the fresh designs for disassembly's facilitation.

Keywords: Design for environment. Design for recyclability. Design fo disassembly.

## SUMÁRIO

<b>1 – INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
1.1 – Apresentação do Tema .....	10
1.2 – Organização do Estudo .....	11
1.3 – Definição do Problema .....	12
1.4 - Objetivos .....	15
1.4.1 - Objetivos gerais .....	15
1.4.2 - Objetivos Específicos .....	16
<b>2 – O DESENVOLVIMENTO E O MEIO AMBIENTE.....</b>	<b>17</b>
2.1 – Gestão Ambiental .....	17
2.2 - Avaliação do Ciclo de Vida de Produtos e Design for X .....	20
2.2.1 – Avaliação do ciclo de vida .....	20
2.2.2 - Avaliação do ciclo de vida segundo a ISO 14040 .....	21
2.3 – Mudança dos Padrões de Consumo .....	26
2.4 – Design for X (DFX) .....	29
2.4.1 - Projeto para o meio ambiente .....	29
2.4.2 - Projeto para a reciclagem .....	32
2.4.3 - Projeto para a desmontagem .....	33
2.5 - Produção Limpa .....	34
2.5.1 - Critérios de produção limpa .....	36
2.5.2 - Etapas da produção limpa .....	37
Mudando o processo de produção .....	37
2.6 - Alguns Exemplos de Ações Tomadas por Empresas .....	38
2.6.1 - FIAT .....	38
2.6.2 - SCANIA.....	40
2.7 – Considerações .....	41
<b>3 - DESMONTAGEM DE UM REFRIGERADOR DOMÉSTICO .....</b>	<b>43</b>
3.1 – O Produto .....	43
3.2 – Desmontagem .....	43
3.2.1 – Desmontagem do produto .....	44
3.2.2 – Desenvolvimento da linha de desmontagem .....	44

<b>3. 3 - Desmontagem Prática .....</b>	<b>45</b>
<b>3. 4 – Pesagem do material separado .....</b>	<b>55</b>
<b>3. 5 – Análise da Desmontabilidade do Refrigerador Doméstico .....</b>	<b>60</b>
<b>3. 5 . 1 - Cálculos comparativos entre atividades manuais e atividade com ferramental elétrico e pneumático .....</b>	<b>60</b>
<b>3. 5. 2 – Dificuldades na desmontagem .....</b>	<b>63</b>
<b>3. 5. 3 – Sugestões de modificações do projeto do produto .....</b>	<b>65</b>
<b>3. 5. 4 – Condição final do material .....</b>	<b>66</b>
<b>3. 5. 5 – Proposta de sistema de desmontagem .....</b>	<b>67</b>
<b>3. 5. 6 – Limitações do estudo .....</b>	<b>68</b>
<b>3. 5. 7– Considerações .....</b>	<b>69</b>
<b>4 – CONCLUSÕES .....</b>	<b>70</b>
<b>4. 1 – Conclusões .....</b>	<b>70</b>
<b>4. 2 - Recomendações .....</b>	<b>72</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>73</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Estrutura linear da economia industrial.....	12
Figura 2.1: Processo de Avaliação do ciclo de vida.....	26
Figura 2.2: Exemplos de Metas Ambientais.....	31
Figura 2.3: Estágios de Reciclagem.....	33
Figura 2.4: Sugestões aos projetistas para o Projeto para Desmontagem.....	35
Figura 3.1: Refrigerador Consul utilizado no estudo.....	43
Figura 3.2: Peças Internas do refrigerador.....	47
Figura 3.3: Compressor ainda no refrigerador.....	48
Figura 3.4: Porta e capa plástica interna desmontada.....	50
Figura 3.5: Capa metálica externa da porta após a retirada do poliuretano.....	51
Figura 3.6: Evaporador (já retirado) e condensador.....	52
Figura 3.7: Chapa de aço do corpo do refrigerador durante a retirada do poliuretano.....	56
Figura 3.8: Massas do material.....	57
Figura 3.9: Percentuais de massa por material.....	58
Figura 3.10: Retorno da venda dos materiais.....	59
Figura 3.11: Preços dos materiais e subconjuntos recuperados.....	59
Figura 3.12: Comparativo de tempos entre ferramentas manuais e automáticas.....	61
Figura 3.13: Aplicação do fator de correção para a desmontagem prática.....	62

## **1 – INTRODUÇÃO**

### **1 .1 – Apresentação do Tema**

A sociedade vem se desenvolvendo a cada ano que passa através de novas descobertas, levando o conforto para dentro dos lares e empresas. Hoje não é necessário levantar para trocar o canal de uma televisão, nem buscar água em algum rio ou açude, para comer algo é só comprar no supermercado e colocar o alimento proposto por alguns instantes em um forno de microondas e logo haverá um delicioso prato. As pessoas podem ser encontrados em qualquer cidade do país ou do mundo através de telefones celulares ou contatar com o mundo através do manuseio de um mouse ou de um comando de voz.

A vida moderna realmente traz muitos benefícios, o ser humano passou a ter novos estilos de vida e convive naturalmente com materiais como Titânio, PVC, PET, kevlar, outros polímeros e metais que facilitaram muito à sua vida. Imagine poder tomar o leite a partir de uma embalagem que não precisa ser lavada; após tomar o leite, basta jogar a embalagem fora e tudo resolvido. A bateria do celular não funciona perfeitamente? Basta jogar fora e tudo resolvido. A geladeira não funciona mais? Basta jogar fora e tudo resolvido. A televisão, o freezer, o forno de microondas, os pneus dos automóveis, os computadores, os telefones etc - Basta jogar fora? Será que está tudo resolvido?

O ser humano de fato passou a ter um novo estilo de vida, porém algumas ações permanecem iguais às ações tomadas em realidades anteriores. Comia-se uma fruta, jogava-se a casca ao pé de uma árvore ou à beira de um rio e em poucos dias ela já estava decomposta. As necessidades fisiológicas da família se resolviam em um buraco cavado na terra ou até mesmo atrás de uma moita. Esses hábitos ainda são comuns em nossos dias, porém não se jogam apenas cascas de frutas na natureza para que elas se decomponham em poucos dias, mas depositam-se produtos químicos, gases, esgoto sem tratamento, pneus, plásticos, produtos que podem levar mais de 500 anos para se decomponham e a natureza começa a não dar mais conta de “filtrar” toda essa poluição. Começa-se a sentir a reação da natureza contra a sua degradação. O mau uso dos recursos naturais está cada vez mais

evidente, através dos rios onde as águas são impróprias para o banho, dos desertos que estão aparecendo, da variação do clima na terra, da falta de energia elétrica, da falta de água potável etc.

Em função da mudança de estilo de vida, não se pode mais manter os mesmos hábitos de desuso de materiais. O volume de lixo gerado todos os dias nas grandes cidades é imenso. Os produtos manufaturados não podem depender unicamente de matéria prima virgem para a sua construção, os recursos naturais são findáveis e devem ser reaproveitados ao máximo. Por isso este trabalho irá sugerir procedimentos para o reaproveitamento de refrigerador doméstico, sejam seus componentes ou materiais.

## **1. 2 – Organização do Estudo**

No primeiro capítulo apresentam-se a exposição do tema e sua organização, encontram-se a definição e a natureza do problema em estudo, juntamente com alguns dados que comprovam a gravidade do descaso quanto ao desuso de produtos. Na seqüência, apresentam-se os objetivos da pesquisa e a relevância do estudo para o segmento pesquisado.

No segundo capítulo são abordadas questões relacionadas a ISO 14.00, Agenda 21, Análise do ciclo de vida e, finalizando o capítulo são discutidas as estratégias de Projeto de Produto juntamente com as formas de produção.

O terceiro capítulo apresenta Desmontagem do Produto, começando pela identificação do produto, passando por estudos de desmontagem e chegando finalmente a desmontagem do produto objeto do estudo com a coleta de dados, análise das dificuldades de desmontagem e elaboração de sugestões de modificações de projeto.

No quarto capítulo apresentam-se as conclusões do presente estudo, a partir do objetivo geral que se pretende alcançar.

No capítulo final são apresentadas as referências bibliográficas que serviram de embasamento para o assunto em questão.

### 1. 3 – Definição do Problema

A responsabilidade da sociedade aumenta a cada dia que passa, em função de possibilitar às próximas gerações um planeta habitável. A responsabilidade da sociedade começa na racionalização do seu consumo, utilizando produtos com menor agressão ao meio ambiente, evitando produtos que o agridam durante a sua fabricação, utilização, manutenção e descarte.

Segundo Greenpeace... (1997), os sistemas de produção atuais são lineares ou do berço ao túmulo e com freqüência usam substâncias nocivas e recursos finitos em vastas quantidades e ritmo acelerado.

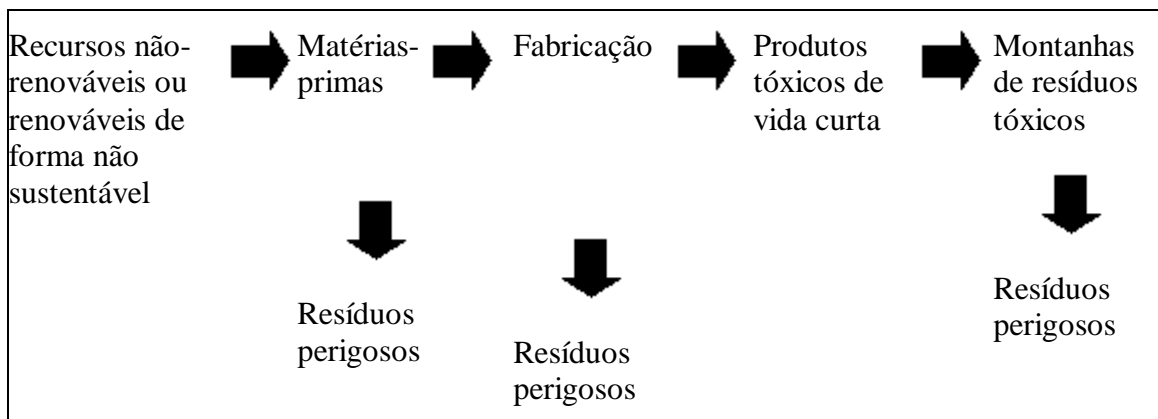


Figura 1.1: Estrutura linear da economia industrial

Fonte: Greenpeace, O que é produção limpa. (1997)

Os recursos naturais estão sendo reduzidos, algumas reservas minerais terminarão em breve, enquanto grandes quantidades de plásticos, metais, papéis etc. estão sendo desperdiçados e vêm se acumulando nos lixões das grandes cidades. Este quadro pode ser revertido e a grande parte deste material pode ser reaproveitado.

A sociedade possui um grande poder de pressão sobre os fabricantes de bens de consumo, pois ela só compra o que quer. Este poder já está sendo reconhecido por ela e começa-se a ver o resultado dessas pressões no desenvolvimento de novos projetos e no interesse das empresas para com a variável ambiental.

O consumidor pode contar com a ajuda de Selos Verdes Internacionais. Os detentores destes selos passam a ser vistos de forma diferenciada, pois são



certificados de que não agredam tanto o meio ambiente quanto os que não os possuem.

Os governos internacionais, as organizações não governamentais e as legislações ambientais também exercem pressões nas questões ambientais. Em 1992, representantes de vários países do mundo reuniram-se no Rio de Janeiro e elaboraram um documento com diretrizes a serem seguidas para que haja a redução das agressões ao meio ambiente, que ficou conhecido como Agenda 21 e será tratado neste estudo. A Agenda 21 foca a mudança dos padrões de consumo para contribuir nas questões relacionadas à energia, transportes, resíduos etc.

Na questão energética, a necessidade de economia ficou evidenciada em 2001, quando a população das regiões Norte, Nordeste, Centro Oeste e Sudeste do Brasil enfrentou um grande racionamento. Deixando de lado as questões políticas do tema, observa-se a carência das fontes energéticas em todo o mundo, pois até a grande potência econômica do momento, os Estados Unidos, vem sofrendo as conseqüências da falta de energia.

As empresas passaram a ser pressionadas para reduzir as emissões danosas ao ambiente durante o processo produtivo, e, mais recentemente, os fabricantes estão sendo responsabilizados pelos produtos por todo o seu ciclo de vida, desde a produção até o descarte, como é o caso dos fabricantes de baterias de celulares que devem recolher os produtos usados.

Ao mesmo tempo, a sociedade precisa desenvolver formas eficazes de lidar com o problema da eliminação de um volume cada vez maior de resíduos. Os Governos, juntamente com a indústria e a população, devem envidar um esforço conjunto para reduzir a geração de resíduos e de produtos descartados, das seguintes maneiras:

(a) Por meio do estímulo à reciclagem no nível dos processos industriais e do produto consumido;

(b) Por meio da redução do desperdício na embalagem dos produtos;

(c) Por meio do estímulo à introdução de novos produtos ambientalmente saudáveis.

O recente surgimento, em muitos países, de um público consumidor mais consciente do ponto de vista ecológico, associado ao maior interesse, por parte de algumas empresas, em fornecer bens de consumo mais ambientalmente corretos, constitui acontecimento significativo que deve ser estimulado. Os Governos e as organizações internacionais, juntamente com o setor privado, devem desenvolver critérios e metodologias de avaliação dos impactos sobre o meio ambiente e das exigências de recursos durante a totalidade dos processos e ao longo de todo o ciclo de vida dos produtos. Os resultados de tal avaliação devem ser transformados em indicadores claros para informação dos consumidores e das pessoas em posição de tomar decisões.

Não cabe somente às empresas se mobilizarem quanto à preservação ambiental. Os consumidores, além de exercerem o poder de pressão para produtos ecologicamente corretos, devem racionalizar o uso de produtos reconhecidamente poluentes como automóveis, geradores etc.

Alguns sistemas que contribuem para a mudança de estilo de vida podem ser vistos nas grandes cidades, como a busca constante pelo melhoramento dos transportes coletivos e até mesmo por imposições de rodízios obrigatórios. Estas ações contribuem diretamente para a redução da utilização de veículos automotores, com conseqüente redução de emissões de produtos tóxicos e até mesmo, a redução de ruídos.

Em função das cobranças exercidas sobre as empresas, alguns conceitos como o Projeto para o Meio Ambiente, Projeto para Reciclagem e Projeto para Desmontagem estão ganhando força com o passar dos anos. Para evitar o acúmulo de lixo e o desperdício de matérias primas, as empresas vêm sofrendo pressões para desenvolver produtos facilmente recicláveis e que não agredam o meio ambiente durante o seu ciclo de vida.

Esta realidade, entretanto, está distante de acontecer, pois, para que os produtos possam ser reciclados, seus materiais devem ser separados por tipos de mesmas características físico-químicas. Esta separação ainda é complexa em função da grande quantidade de materiais diferentes nos produtos e da dificuldade de separá-

los, elevando o custo de desmontagem e inviabilizando a reciclagem do ponto de vista econômico.

Ainda hoje existem empresas que projetam os seus produtos dando ênfase nos custos de produção e no design gráfico, para agradar o consumidor, sem implicar no aumento dos custos. Por isso, encontram-se tantos produtos cuja reciclagem é praticamente inviável. Sem contar que quando o consumidor compra esse tipo de produto, não recebe nenhuma orientação quanto à sua disposição final.

O projeto para a desmontagem é de fundamental importância para que o produto não agride o meio ambiente no final de seu ciclo de vida, pois ele vai viabilizar a reciclagem dos componentes e materiais dos produtos, facilitada pela sua desmontagem e separação dos materiais. Com base na importância do Projeto para a Desmontagem, surgiu a idéia de desmontar um produto manufaturado, produzido em larga escala, para identificar as dificuldades de desmontagem deste produto, dar algumas sugestões de mudanças no projeto e estimular a pesquisa sobre estas dificuldades.

Ao se perguntar: qual é o produto que está presente quase que na totalidade dos lares brasileiros? A resposta imediata é o televisor e o refrigerador doméstico. Ambos são produtos de importância para o estudo, pois, além de serem encontrados na maioria dos lares brasileiros, o refrigerador doméstico e o televisor se acumulam na maioria dos aterros sanitários, na maioria dos leitos de rios, nos terrenos baldios etc.

Definidos os alvos, a empresa MULTIBRAS foi contatada para contribuir com o estudo, o que fez de imediato cedendo um refrigerador Consul de uso doméstico de sua linha de produção, para que fosse desmontado e analisado, principalmente quanto à facilidade de desmontagem.

## **1. 4 - Objetivos**

### **1. 4. 1 - Objetivos gerais**

Este estudo tem por objetivo a análise da viabilidade da desmontagem de um refrigerador doméstico.

#### 1. 4. 2 - Objetivos Específicos

- Desmontagem do refrigerador doméstico.
- Identificação das dificuldades de desmontagem do refrigerador.
- Elaboração de sugestões para facilitar a desmontagem após o uso.

Com o resultado do estudo, a empresa Multibrás, os pesquisadores da área e até mesmo outras empresas poderão evoluir no sentido de facilitar a futura desmontagem dos seus produtos, o que reduziria substancialmente o acúmulo de material reciclável nos aterros sanitários, rios etc.

## **2 – O DESENVOLVIMENTO E O MEIO AMBIENTE**

O desenvolvimento tecnológico, em conjunto com o aumento das necessidades da sociedade, iniciou um processo de degradação ambiental onde o poder de recuperação da natureza passou a não ser capaz de superar o poder de sua degradação. Felizmente algumas partes da sociedade passaram a se preocupar com o tema e buscar técnicas em que o desenvolvimento não comprometa o equilíbrio ambiental, gerando pressões para a existência de sistemas de gestão ambiental.

### **2. 1 – Gestão Ambiental**

No início da década de 1990 diferentes organizações internacionais, sobretudo as de normalização, começaram a buscar a definição do que se constitui excelência na incorporação de um sistema de gestão ambiental. Procuravam resposta a uma demanda por parte do setor produtivo, pressionado pela realidade econômica da globalização, que vem levando a uma crescente pressão contra os efeitos nocivos do desenvolvimento sobre o meio ambiente. Foi assim que surgiram conjuntos de normas para empresas, de uso voluntário, relacionados à gestão ambiental onde se destaca a ISO 14.001. Um dos pontos comuns é que as três devem ser introduzidas por meio de um processo formal visando a certificação. A mais conhecida e difundida no Brasil é a série ISO, da qual apenas a 14.001 é certificável.

A norma ISO 14.001 foi publicada em setembro de 1996. Esta norma se concentra primeiramente na melhoria da performance das empresas nas áreas de atividade, produtos e serviços. O foco principal de observação é o impacto ambiental, isto é, toda mudança no meio ambiente, favorável ou desfavorável, causada total ou parcialmente pelas atividades da organização ou por seus produtos e serviços. (ZÜST, 1997).

Segundo Tibor (1996) as normas ISO 14.000 descrevem os elementos básicos de um sistema de gestão ambiental eficaz. Seus elementos incluem a criação de uma política ambiental, o estabelecimento de objetivos e alvos, a implementação de um programa para alcançar esses objetivos, a monitoração e a medição de sua eficácia, a correção de problemas e a análise e revisão do sistema para aperfeiçoá-lo e melhorar o desempenho ambiental geral. Um Sistema de Gestão Ambiental eficaz pode ajudar uma empresa a gerenciar, medir e melhorar os aspectos ambientais de suas operações. A norma ISO 14.001 está baseada na obtenção de um melhor gerenciamento do meio ambiente que levará a um melhor desenvolvimento desse meio ambiente, a uma maior eficiência e a um maior retorno de investimentos.

A partir do final dos anos 60 e princípio dos anos 70 as exigências ambientais começaram a mudar. As empresas, devido às exigências das regulamentações, passaram a criar cargos específicos para esse fim, desenvolvendo sistemas de melhoria e garantia. O foco inicial da Gestão Ambiental estava na conformidade às regulamentações governamentais.

As normas internacionais de gestão ambiental têm por objetivo prover às organizações os elementos de um sistema de gestão ambiental eficaz, passível de integração com outros elementos de gestão, de forma a auxiliá-las a alcançar seus objetivos ambientais e econômicos.

Estas normas especificam os requisitos de tal sistema de gestão ambiental, tendo sido redigidas de forma a aplicar-se a todos os tipos e portes de organizações e para adequar-se a diferentes condições geográficas, culturais e sociais. Elas compartilham princípios comuns de sistemas de gestão como a série de normas ISO 9000 para sistemas de qualidade. Elas aplicam-se a qualquer organização que deseje:

- a. Implementar, manter e aprimorar um sistema de gestão ambiental;
- b. Assegurar-se de sua conformidade com sua política ambiental definida;
- c. Demonstrar tal conformidade a terceiros;

d. Buscar certificação/registro do seu sistema de gestão ambiental por uma organização externa;

e. Realizar uma auto-avaliação e emitir autodeclaração de conformidade com esta norma.

É importante que a organização esteja ciente dos aspectos ambientais ligados às suas atividades. Esta norma sugere alguns aspectos que podem ser levados em consideração quando pertinente a:

- a) Emissões atmosféricas;
- b) Lançamentos em corpos d'água;
- c) Gerenciamento de resíduos;
- d) Contaminação do solo;
- e) Uso de matérias-primas e recursos naturais;
- f) Outras questões locais relativas ao meio ambiente e à comunidade.

É importante conhecer quais são estas normas e quais suas atuações. De acordo com Perrone (1996), as normas ISO 14.000 podem ser assim resumidas: ISO 14.001 atribui certificado de qualidade ambiental às empresas; ISO 14.004 é um guia de princípios, sistemas e técnicas de suporte para que as empresas possam se enquadrar e, no futuro, conseguir a certificação; ISO 14.010 a 14.012, são as diretrizes para a auditoria dos métodos produtivos das empresas; ISO 14.020 a 14.024 normaliza objetos, princípios, termos e definições para a rotulagem ambiental; ISO 14.040 a 14.043, seguindo os padrões da gestão ambiental, define a avaliação do ciclo de vida dos produtos; ISO 14.050 estabelece termos e definições, padronizando o vocabulário da gestão ambiental.

## **2. 2 - Avaliação do Ciclo de Vida de Produtos e *Design for X***

Segundo Weule (1993), a proteção ambiental e a preservação das reservas são tarefas importantes para a indústria. A indústria tem sido responsabilizada pela performance ambiental de seus produtos durante todo o ciclo de vida, em função disso, tem desenvolvido estratégias de projeto para minimizar os impactos ambientais dos seus produtos em todas as fases do ciclo de vida.

### **2. 2. 1 – Avaliação do ciclo de vida**

Com a evolução do pensamento ambiental, mesmo que discretamente, as indústrias passaram a ser cobradas quanto às agressões à natureza durante a fabricação e a utilização do produto, e, em seguida, quanto à disposição final dos produtos por elas fabricados. A opinião pública passou a exigir cuidados com o meio ambiente durante todo o ciclo de existência do produto, fazendo com que as indústrias avaliassem todo o *ciclo de vida* do produto.

As empresas estão passando a examinar mais detalhadamente todo o ciclo de vida de seus produtos, desde as matérias primas, processo produtivo, distribuição e mais recentemente, a possibilidade de reutilização e disposição final.

No passado, a preocupação das empresas se limitava, quase na sua totalidade em projetar produtos que satisfizessem às necessidades de utilização do produto pelo consumidor sem se preocupar com o seu destino após o uso, sem se preocupar com a totalidade do seu Ciclo de Vida.

A responsabilidade das empresas se estende por todo o ciclo de vida do produto, não somente durante o período de garantia, como no outrora.

A Avaliação do Ciclo de Vida é uma abordagem para melhor entender a interação entre o meio ambiente e a atividade industrial. Mesmo que a avaliação não atinja a totalidade dos fatores influentes sobre do Ciclo de Vida, a sua perspectiva pode ser útil, contribuindo ao menos para conscientizar as pessoas dos aspectos ambientais de sua tarefa.



A Avaliação do Ciclo de Vida é a análise de um sistema de produtos ou serviços em todos os estágios do seu Ciclo de Vida: extração de matérias primas, fabricação, distribuição, uso/reuso/manutenção, reciclagem/gestão de rejeitos e sistemas de fornecimento de energia relevantes. Este processo pode ser complexo, dispendioso e demorado, devendo ser planejado para atingir às necessidades das organizações. Devido essa complexidade e, até mesmo, indeterminação de limites, as opiniões sobre a Avaliação do Ciclo de Vida são geralmente polarizadas entre *“uma ferramenta potencialmente poderosa para reduzir os impactos das atividades econômicas e uma maneira muito longa, cara e demorada de dizer às companhias o que elas já sabem”*. [Sweatman, 1997].

O processo tecnicamente ideal não tem sido utilizado com frequência na prática. Até agora a maioria dos estudos, devido à complexidade da análise total do ciclo de vida, não passou da fase de quantificação do uso de recursos, de energia e de emissões. Sem a avaliação do ciclo de vida, algumas decisões julgadas ecologicamente corretas podem estar resultando em ações que contribuem para a degradação do meio ambiente, pois os atos de reciclagem, por exemplo, podem degradar mais o meio ambiente do que a produção sistematizada de um produto com matérias primas virgens e abundantes.

Muitas vezes, a análise limitada pode ser tão valiosa quanto uma análise focalizada apenas em usos alternativos de matérias primas.

No caso de um refrigerador doméstico, a Avaliação do Ciclo de Vida pode contribuir com melhorias no processo, como a utilização de um processo de transformação do poliuretano isolante que emita uma menor quantidade de gases tóxicos no ambiente, ou com projetos de produtos que facilitem sua manutenção, bem como a sua desmontagem, para reuso das partes ou reciclagem dos materiais.

## 2. 2. 2 - Avaliação do ciclo de vida segundo a ISO 14040

Segundo Tibor (1996), as normas enfatizam que a avaliação do ciclo de vida é uma ferramenta útil que ajuda as empresas a melhor compreender, controlar e reduzir os impactos ambientais criados por bens e serviços.

Tibor (1996) afirma que as normas de Avaliação do Ciclo de Vida são para uso interno. Seu objetivo é encorajar os determinadores de políticas públicas, organizações privadas e o público a abordarem questões ambientais de uma maneira sistemática que leve em consideração o impacto ambiental de um maior espectro de atividades.

As organizações devem comunicar claramente as hipóteses, para evitar reivindicações não substanciadas, devem ainda ser muito cautelosas ao fazer reivindicações baseadas nos resultados da Avaliação do Ciclo de Vida, especialmente reivindicações comparativas. Esses resultados devem comunicar claramente as complexidades envolvidas, evitando soluções simplistas.

Tibor (1996), diz que a Avaliação do Ciclo de Vida deve ser aplicada flexivelmente, de modo a refletir desenvolvimentos na área. As organizações podem aplicar os elementos centrais da Avaliação do Ciclo de Vida da forma mais prática e adequada a suas necessidades.

As normas objetivam melhorar a consistência e a validade técnica das Avaliações do Ciclo de Vida para que elas se desenvolvam com alto grau de credibilidade mundial.

Os estudos de Avaliação do Ciclo de Vida parciais ou simplificados também podem ser necessários e úteis. Estes porém não abrangem todo o ciclo de vida de serviço do produto. O estudo pode se concentrar apenas no desenvolvimento de base de dados para matérias-primas ou sistemas de suprimento de energia. Podem ainda lidar apenas com efeitos locais específicos, como segurança dos trabalhadores ou avaliação dos riscos.

Tibor (1996), em análise realizada durante o processo de desenvolvimento da norma afirma que a primeira etapa em uma Avaliação do Ciclo de Vida é compreender claramente suas metas e escopo. As metas de uma Avaliação do Ciclo de Vida devem ser claramente definidas e compreendem:

- Por que o estudo está sendo realizado?
- Quem está patrocinando o estudo?

- Quais são os participantes no estudo?
- Como a organização pretende aplicar o estudo e utilizar os resultados?
- Qual é o público-alvo?
- Qual quantidade inicial dos dados necessários para a Avaliação do Ciclo de Vida?
- Que tipo de análise crítica deve ser empregado?
- Quais exigências para a comunicação dos resultados da Avaliação do Ciclo de Vida?
- Quais as limitações na utilização do estudo para outras finalidades?

As metas do estudo podem variar. Podem se estabelecer algumas condições básicas para o sistema, a fim de avaliar os *inputs* e *outputs* mais importantes.

O escopo do estudo deve ser suficientemente bem definido, em termos de sua amplitude e profundidade de análise, para alcançar as metas declaradas da Avaliação do Ciclo de Vida. O escopo deve incluir:

- A função do sistema;
- A unidade funcional;
- O sistema a ser estudado;
- Os limites do sistema;
- Os dados necessários;
- As pressuposições e limitações.

À medida que dados da Avaliação do Ciclo de Vida sejam coletados em um estudo, o escopo pode ser modificado e até mesmo as metas do estudo podem ser revisadas em virtude de limitações ou restrições não previstas.

Embora a Avaliação do Ciclo de Vida esteja preocupada principalmente com produtos, ela se concentra nos sistemas de produção. Um sistema é uma coleção de operações que, quando funcionando em conjunto, realiza uma função definida.

Dentro de cada sistema há subsistemas ou processos unitários separados. É necessário decompor um sistema complexo em processos unitários de modo que cada processo seja uma operação única para o qual a organização possa realmente juntar dados de *input* e *output*. A descrição física do sistema é uma descrição quantitativa de todos os fluxos de matéria e energia através dos limites do sistema.

Os limites do sistema o separam de sua vizinhança. O meio ambiente fornece os inputs ao sistema e recebe todos os outputs do sistema. O limite do sistema pode ser um limite físico, como todas as operações realizadas por um equipamento especial, ou pode estender-se além de uma operação física única; por exemplo, a organização pode analisar sua operação de transporte, a qual não se limita a uma operação específica.

Os estudos de Avaliação do Ciclo de Vida geram grandes quantidades de dados. É importante definir as metas de qualidade de dados para assegurar que o estudo seja confiável. As metas de qualidade de dados especificam em termos gerais as características desejáveis dos dados necessários. Estes dependem dos objetivos da aplicação do estudo.

Após as metas e o escopo do estudo estarem claramente definidos, a fase seguinte da metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida é a análise de inventário. A tarefa principal da fase de inventário é coletar dados para medir os fluxos de *inputs* e *outputs* de energias e materiais associados ao sistema. Este processo é complexo e intensivo em recurso, e os procedimentos vão variar com o escopo, o sistema e a aplicação pretendida da Avaliação do Ciclo de Vida. A ISO 14.041 determina que o estudo modele o sistema utilizando diagramas, descreva cada processo unitário detalhadamente, liste as categorias de dados das quais se desejem dados, defina as unidades de medida e descreva as técnicas de amostragem. Durante o processo de coleta de dados, os limites do sistema são freqüentemente finalizados com base em algum critério de encerramento que limita o manuseio subsequente de dados.

Após o inventário vem a avaliação do impacto do ciclo de vida. O objetivo da avaliação do impacto do ciclo de vida é compreender e avaliar a magnitude e importância dos impactos ambientais baseados na análise do inventário. A metodologia de avaliação de impactos é complexa e apresenta as seguintes etapas:

- Classificação: é um agrupamento e seleção de dados do inventário do ciclo de vida em algumas categorias de impacto. As categorias gerais são o esgotamento de recursos, a saúde humana e os impactos ecológicos.

- Caracterização: é a análise e quantificação do impacto em cada categoria selecionada. Um componente importante é o uso de dados físicos, químicos, biológicos e toxicológicos relevantes que descrevam os impactos potenciais.

- Valoração: é a discussão da importância dos resultados da avaliação de impactos. Ela pode envolver interpretação, ponderação e ordenação dos dados de análises de inventário.

As conclusões da Avaliação do Ciclo de Vida respondem às perguntas colocadas na definição de metas. A meta básica das conclusões é organizar os resultados da Avaliação do Ciclo de Vida em informações compreensíveis e significativas para os tomadores de decisão.

A Avaliação do Ciclo de Vida não é um processo exato, depende de muitas variáveis, dentre as quais o avaliador, o local, as características do produto na região etc. Por isso, pode ser errado identificar um produto como melhor que outros em função de uma Avaliação do Ciclo de Vida. Porém, a utilização da Avaliação do Ciclo de Vida em conjunto com outras ferramentas pode trazer uma noção mais aproximada da realidade.

A Avaliação do Ciclo de Vida pode utilizar elementos que não condizem com a realidade apresentada pelos resultados, podendo gerar falsas interpretações, hipóteses e expectativas. A coleta de dados é complexa e dispendiosa e os processos propriamente ditos são muito complexos.

Relações de causa e efeito no processo de avaliação de impactos são difíceis de descobrir. Embora os *inputs* e *outputs* (figura 2.1) de um sistema industrial passem a ser medidos ou estimados, o elo causal entre esses fatores nem sempre é

claro. (Tibor, 1996).

A Avaliação do Ciclo de Vida não se limita a avaliação de produtos. Os serviços e processos vêm sendo cada vez mais avaliados no tocante a Ciclo de Vida. A Europa, por exemplo, tem aplicado a Avaliação do Ciclo de Vida aos setores de geração de energia e transportes.

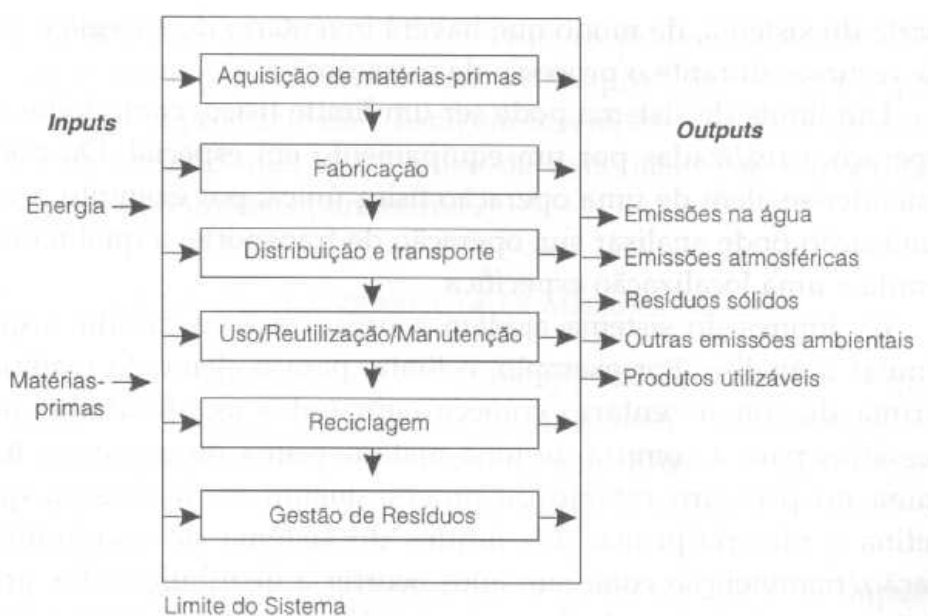


Figura 2.1: Processo de Avaliação do ciclo de vida.

Fonte: Adaptado de Tibor (1996)

## 2. 3 – Mudança dos Padrões de Consumo

A Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro, em 1992, aprovou um documento, denominado Agenda 21, que estabelece um pacto pela mudança do padrão de desenvolvimento global para o próximo século. Os países signatários assumiram o desafio de incorporar, em suas políticas, metas que os coloquem a caminho do desenvolvimento sustentável.

A Agenda 21 consolidou a idéia de que o desenvolvimento e a conservação do meio ambiente devem constituir um binômio indissolúvel, que promova a ruptura do

antigo padrão de crescimento econômico, tornando compatíveis duas grandes aspirações desse final de século: o direito ao desenvolvimento, sobretudo para os países que permanecem em patamares insatisfatórios de renda e de riqueza, e o direito ao usufruto da vida em ambiente saudável pelas futuras gerações. Essa ruptura é capaz de permitir a recondução da sociedade industrial rumo ao novo paradigma do desenvolvimento sustentável que exige a reinterpretação do conceito de progresso, cuja avaliação deve ser principalmente efetuada por indicadores de desenvolvimento humano e não apenas pelos índices que constituem os atuais Sistemas de Contas Nacionais, como, por exemplo, o Produto Interno Bruto – PIB.

Para a construção da Agenda 21 Brasileira adotou-se por metodologia a seleção de áreas temáticas que refletem a complexidade da problemática sócio-ambiental e a proposição de instrumentos que induzam o desenvolvimento sustentável, devendo a Comissão coordenar e acompanhar sua implementação. Foram escolhidos como temas centrais da Agenda: 1 – Agricultura Sustentável, 2 – Cidades Sustentáveis, 3 – Infraestrutura e Integração Regional, 4 – Gestão dos Recursos Naturais, 5 – Redução das Desigualdades Sociais e 6 – Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento Sustentável. Para este estudo a mudança dos padrões de consumo, subtema da Gestão dos Recursos Naturais, assume importância.

Por ser muito abrangente, a questão da mudança dos padrões de consumo é focalizada em diversos pontos da Agenda 21, em especial nos que tratam de energia, transportes e resíduos, bem como nos capítulos dedicados aos instrumentos econômicos e à transferência de tecnologia.

A pobreza e a degradação do meio ambiente estão estreitamente relacionadas. Enquanto a pobreza tem como resultado determinados tipos de pressão ambiental, as principais causas da deterioração ininterrupta do meio ambiente mundial são os padrões insustentáveis de consumo e produção, especialmente nos países industrializados. Motivo de séria preocupação, tais padrões de consumo e produção provocam o agravamento da pobreza e dos desequilíbrios.

Especial atenção deve ser dedicada à demanda de recursos naturais gerada pelo consumo insustentável, bem como ao uso eficiente desses recursos, coerentemente com o objetivo de reduzir ao mínimo o esgotamento desses recursos e de reduzir a

poluição. Embora em determinadas partes do mundo os padrões de consumo sejam muito altos, as necessidades básicas do consumidor de um amplo segmento da humanidade não estão sendo atendidas. Isso se traduz em demanda excessiva e estilos de vida insustentáveis nos segmentos mais ricos, que exercem imensas pressões sobre o meio ambiente. Enquanto isso, os segmentos mais pobres não têm condições de ser atendidos em suas necessidades de alimentação, saúde, moradia e educação. A mudança dos padrões de consumo exigirá uma estratégia multifacetada centrada na demanda, no atendimento das necessidades básicas dos pobres e na redução do desperdício e do uso de recursos finitos no processo de produção.

Convém ainda considerar os atuais conceitos de crescimento econômico e a necessidade de que se criem novos conceitos de riqueza e prosperidade, capazes de permitir melhoria nos níveis de vida por meio de modificações nos estilos de vida que sejam menos dependentes dos recursos finitos da Terra e mais harmônicos com sua capacidade produtiva. Isso deve refletir-se na elaboração de novos sistemas de contabilidade nacional e em outros indicadores do desenvolvimento sustentável.

A redução do volume de energia e dos materiais utilizados por unidade na produção de bens e serviços pode contribuir simultaneamente para a mitigação da pressão ambiental e o aumento da produtividade e competitividade econômica e industrial. Em decorrência, os Governos, em cooperação com a indústria, devem intensificar os esforços para utilizar a energia e os recursos de modo economicamente eficaz e ambientalmente saudável, como se segue:

- (a) Com o estímulo à difusão das tecnologias ambientalmente saudáveis já existentes;
- (b) Com a promoção da pesquisa e o desenvolvimento de tecnologias ambientalmente saudáveis;
- (c) Com o auxílio aos países em desenvolvimento na utilização eficiente dessas tecnologias e no desenvolvimento de tecnologias apropriadas a suas circunstâncias específicas;



(d) Com o estímulo ao uso ambientalmente saudável das fontes de energia novas e renováveis;

(e) Com o estímulo ao uso ambientalmente saudável e renovável dos recursos naturais renováveis.

Com a utilização de instrumentos econômicos adequados, começou-se a influir sobre o comportamento do consumidor. Esses instrumentos incluem encargos e impostos ambientais, sistemas de depósito/restituição etc. Tal processo deve ser estimulado, à luz das condições específicas de cada país.

## **2. 4 – Design for X (DFX)**

Com o desenvolvimento das técnicas de projeto de produto e as necessidades de se aprimorar processos de fabricação para a melhoria da qualidade e a redução de custos, surgiram diversas estratégias de projeto, conhecidas genericamente como Design for X (DFX), onde X é uma característica de um produto que deva ser maximizada, como a facilidade de manufatura, de manutenção, reciclagem etc.

A norma ISO 14.000, a Agenda 21, além de outros instrumentos estão sendo fortemente utilizados para contribuir com a preservação do meio ambiente e com isso, as empresas têm sido pressionadas a melhorar os seus processos produtivos e produtos, para tanto, as empresas lançam mão de estratégias de projeto como o Projeto para Montagem, Projeto para desmontagem, Projeto para Reciclagem e Projeto para o Meio Ambiente.

Todas essas estratégias se caracterizam em buscar soluções que facilitem a montagem, desmontagem e reciclagem dos produtos, além das questões normalmente conhecidas em projeto, como a redução de custos, melhoria de eficiência, manutenção facilitada etc.

### **2. 4. 1 - Projeto para o meio ambiente**

A parte do projeto relacionada ao meio ambiente retrata a preocupação das empresas com a pressão social para a preservação do meio ambiente. Alting (1995),

afirma que os projetistas, para estarem em uma posição melhor para contribuir com o surgimento de produtos ambientalmente melhores, devem conhecer o fluxo total dos materiais, desde a extração até a disposição final; desenvolver métodos e ferramentas para o projeto para o meio ambiente; pesquisar materiais que facilitem a reciclagem; desenvolver novas tecnologias e sistemas de produção.

O Projeto para o Meio Ambiente pode ser direcionado a produto ou processos. O Projeto para o Meio Ambiente leva em consideração os resíduos e as emissões do processo produtivo, os processos produtivos possuem alterações mais complicadas em curto prazo se comparadas com as alterações do produto, por exemplo, a soldagem de placas eletrônicas, a presença do chumbo na pasta de solda de componentes eletrônicos é nociva ao ambiente, porém ainda é largamente utilizado em todo o mundo por não haver um processo economicamente viável que substitua a utilização da pasta de solda com chumbo. Com relação ao produto, o projeto para o meio ambiente leva em consideração desde os materiais que serão usados no produto, a forma como a obtenção desses materiais interfere no meio ambiente, os resíduos e as emissões do processo produtivo, o uso e o desuso dos produtos e o seu reaproveitamento.

Segundo Cooper (2001), o projeto para o meio ambiente promove a prevenção da poluição e a conservação dos recursos naturais através da inclusão de considerações sistemáticas ambientais de engenharia em projetos de desenvolvimento de produtos. Na figura 2.2 pode-se ver algumas diretrizes do projeto para o meio ambiente propostas por COOPER, 2001.

<b>Categorias</b>	<b>Exemplo de metas ambientais</b>
<b>Facilidade</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduzir ou eliminar o uso de materiais tóxicos, inflamáveis e explosivos durante o ciclo de vida.</li> <li>• Reduzir ou eliminar o armazenamento e emissão de materiais perigosos.</li> <li>• Alcançar ou exceder as metas regulatórias.</li> <li>• Reduzir o consumo de energia durante o ciclo de vida</li> </ul>
<b>Local</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduzir ou eliminar o uso de produtos químicos ligados à formação de fumaça, a descarga de produtos ligados à poluição das superfícies de água, a geração de resíduos sólidos e o uso de óleos durante o ciclo de vida.</li> </ul>
<b>Regional</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduzir ou eliminar processos que envolvam descargas ácidas ou alcalinas, que disperse metais pesados, que use combustíveis que gere óxidos de enxofre e nitrogênio.</li> <li>• Melhorar a logística minimizando a necessidade de transporte.</li> </ul>
<b>Global</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduzir ou eliminar o uso de produtos químicos ligados à degradação da camada de ozônio durante o ciclo de vida.</li> <li>• Reduzir ou eliminar a contribuição para as mudanças climáticas.</li> <li>• Reduzir ou eliminar o uso de materiais de florestas virgens e regiões protegidas.</li> <li>• Maximizar o uso de materiais e energias recuperadas, reduzir a utilização de materiais escassos e aumentar o uso de energia proveniente de combustíveis não-fósseis.</li> </ul>

Figura 2.2: Exemplos de Metas Ambientais.

O presente estudo está direcionado ao descarte do produto, ao destino de seus componentes no final do seu ciclo de vida, razão pela qual discutir-se-á o projeto para a reciclagem e o projeto para a desmontagem.

## 2. 4. 2 - Projeto para a reciclagem

Segundo Hirano (1997), é necessário que o projetista busque a simplificação, unificação, integração e economia em cada fase de escolha de materiais, componentes e produtos em consideração. O projeto para a reciclagem será alcançado com o conjunto de várias ações de melhoria dessas tecnologias.

Segundo Beitz (1994), a reciclagem de produtos está crescendo significativamente com base no melhor marketing e opções de venda. O projeto para reciclagem leva em consideração o destino dos componentes dos produtos no final do ciclo de vida. Esta estratégia de projeto procura escolher materiais que possam facilmente ser reinseridos em outros ciclos produtivos após o seu uso em um determinado produto. Porém, não se deve ter a ilusão de que todo material reciclável seja benéfico ao ambiente, haja vista a possibilidade da transformação de alguns necessitar grandes quantidades de energia para que se obtenha o nível de pureza desejada, como a separação dos materiais de componentes eletrônicos. Todos esses fatores devem ser considerados no momento da concepção do produto juntamente com os custos para a reciclagem.

Os estágios de reciclagem podem ser vistos na figura 2.3, de acordo com a metodologia proposta por István (1996). Ele determinou a possibilidade de utilização posterior das partes sobressalentes obteníveis. Determinou ainda a garantia de qualidade e métodos de qualificação dos componentes. Os métodos que ele elaborou são baseados nos princípios contidos na regulamentação VDI 2243.

Para amenizar os custos da reciclagem começou-se a falar em facilitar a desmontagem a fim de que os materiais fossem separados com maior rapidez e facilidade. Esta faceta do projeto é chamada de projeto para desmontagem, que leva em consideração os mesmos princípios do projeto para a montagem, só que agora pensando em aumentar a velocidade e a facilidade da desmontagem.

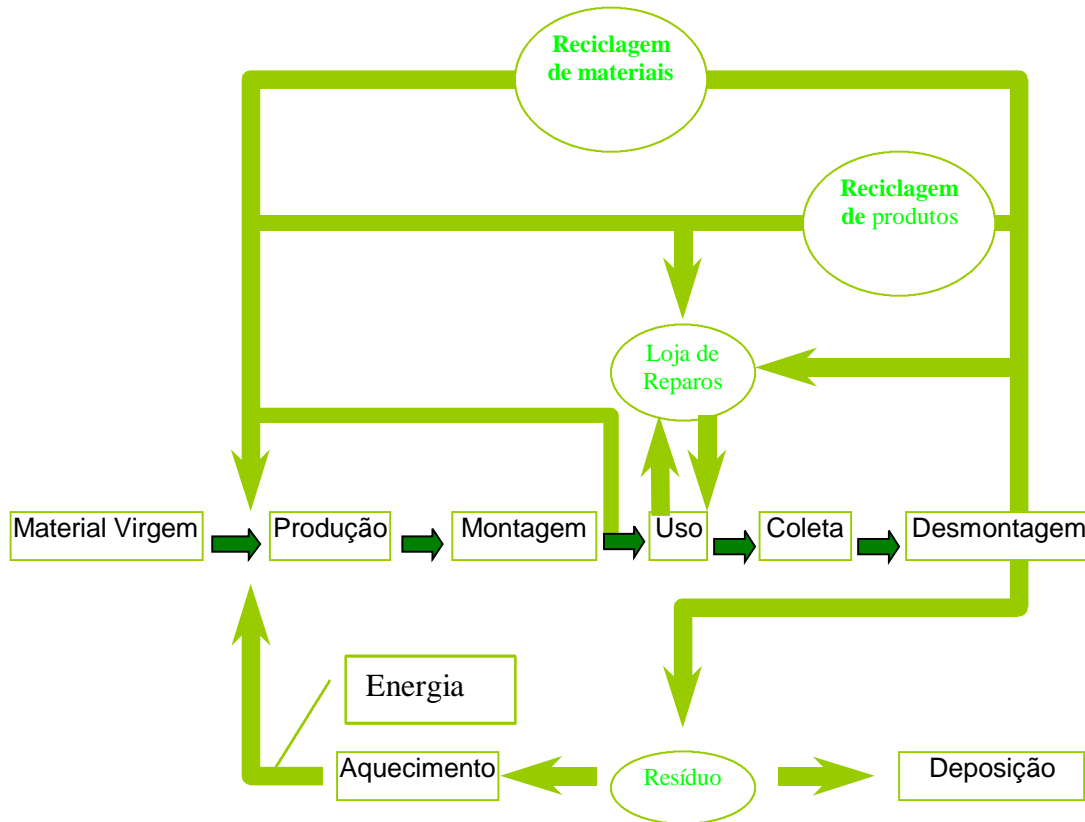


Figura 2.3: Estágios de Reciclagem  
 Fonte: Adaptado de István (1996)

### 2. 4. 3 - Projeto para a desmontagem

A possibilidade de desmontagem de produtos em frações recicláveis e a questão da preservação da qualidade do material são o âmago do problema da reciclagem. Tradicionalmente os produtos têm sido projetados para a fácil montagem e uso de materiais de construção com custos reduzidos, com foco exclusivo na manufatura. Não tem sido consenso que a fase de disposição final dos produtos deva ser levado em consideração nas fases iniciais de projeto; esse custo tem sido pago por toda a sociedade e não pelos consumidores e/ou fabricante desse produto.

A tecnologia atualmente empregada não tem por objetivo facilitar a separação dos materiais primários. As inovações foram sempre voltadas para a facilitação e redução dos custos de produção dos produtos divididos na aquisição de matérias primas, montagem ou transformação dos produtos e distribuição até os consumidores, gerando submontagens complexas com larga diversidade de materiais, dificultando a seleção. A desmontagem ganha ainda mais complexidade em função de que, em muitos casos, as configurações dos produtos não levam em

consideração efeitos relativos ao tempo de uso do produto como a corrosão dos materiais.

Harjula, 1996 cita os seguintes fatores que deveriam ser considerados durante o projeto de produtos para uma desmontagem fácil: (i) os aspectos financeiros, incluindo os custos da desmontagem, os custos favoráveis do reuso ou reciclagem e custos de descarte e (ii) impacto ambiental.

A BMW segue alguns objetivos bastante interessantes. A montadora possui todo um conjunto de normas que facilita e prepara os projetistas desde a fase conceitual de seu projeto. A montadora criou ainda um *Handbook* que informa os componentes mais compatíveis com a reciclagem e a desmontagem. [FRANZE, 1997]

Para chegar a uma nova demanda de produtos recicláveis, o projeto para a desmontagem ganhou espaço nos últimos anos. [JOVANE, 1993]. Algumas regras para o Projeto para a Desmontagem podem ser vistas na figura 2.4.

Seguindo uma linha de projeto que busque pontos como os levantados na figura 2.2, os projetos irão contribuir para a facilidade de desmontagem dos produtos e posterior reciclagem ou reutilização de suas partes.

## **2. 5 - Produção Limpa**

A Organização Não Governamental Greenpeace (1997), propõe o conceito de Produção Limpa. Este conceito leva em consideração vários fatores ambientais, desde os materiais utilizados nos produtos até o questionamento da real necessidade do produto para a sociedade.

O objetivo da Produção Limpa é atender a necessidade de produtos de forma sustentável, isto é, usando com eficiência materiais e energia Renováveis, não-nocivos, conservando, ao mesmo tempo, a biodiversidade. Os sistemas de Produção Limpa são ciclos fechados e usam menor número de materiais, menos água e energia. Os recursos fluem pelo ciclo de produção e consumo em ritmo mais lento. Em primeiro lugar, os princípios da Produção Limpa questionam a necessidade real

do produto ou procuram outras formas pelas quais essa necessidade poderia ser satisfeita ou reduzida.

BENEFÍCIOS	PRINCÍPIOS DE PROJETO
Menor trabalho de desmontagem	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Combinar elementos.</li> <li>- Limitar a variação de materiais.</li> <li>- Usar materiais compatíveis.</li> <li>- Agrupar materiais perigosos em submontagens.</li> <li>- Proporcionar fácil acesso a materiais perigosos, valiosos e reutilizáveis.</li> </ul>
Configuração do produto	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Evitar combinações de materiais envelhedores e corrosivos.</li> <li>- Proteger as submontagens de sujeiras e corrosão.</li> </ul>
Fácil desmontagem	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pontos de drenagem acessíveis.</li> <li>- Usar fixadores fáceis de remover ou destruir.</li> <li>- Diminuir o número de fixadores.</li> <li>- Usar o mesmo fixador para muitas partes.</li> <li>- Facilitar o acesso para separar, quebrar ou cortar peças.</li> <li>- Evitar múltiplas direções e movimentos complexos para desmontagem.</li> <li>- Evitar metais inseridos em partes plásticas.</li> </ul>
Fácil Manuseio	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Evitar partes não rígidas.</li> <li>- Envolver substâncias tóxicas em unidades seladas.</li> </ul>
Fácil Separação	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Evitar acabamentos secundários (pintura, revestimento etc.).</li> <li>- Proporcionar marcas ou diferenças de cores para a separação do material.</li> <li>- Evitar materiais que possam danificar o equipamento de reciclagem (picador ou moedor).</li> </ul>
Redução da variabilidade	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Usar submontagens e partes padrão.</li> <li>- Minimizar os tipos de fixadores.</li> </ul>

Figura 2.4: Sugestões aos projetistas para o Projeto para Desmontagem.

Fonte: Adaptado de Jovane (1993)

O objetivo da Produção Limpa é atender nossa necessidade de produtos *de forma sustentável*, isto é, usando com eficiência materiais e energia renováveis, não-nocivos, conservando, ao mesmo tempo, a biodiversidade. Os sistemas de Produção Limpa são *circulares* e usam menor número de materiais, menos água e energia. Os recursos fluem pelo ciclo de produção e consumo em ritmo mais lento. Em primeiro lugar, os princípios da Produção Limpa questionam a necessidade real do produto ou procuram outras formas pelas quais essa necessidade poderia ser satisfeita ou reduzida.

## 2. 5. 1 - Critérios de produção limpa

**Para atender aos critérios da produção limpa, os produtos devem ser:**

- Não-tóxicos;
- Eficientes no uso de energia;
- Feitos usando-se materiais renováveis, rotineiramente reaproveitados e extraídos de forma a manter a viabilidade do ecossistema e da comunidade da qual foram extraídos;
- Feitos de materiais não-renováveis, mas passíveis de reprocessamento de forma não-tóxica e eficiente em termos de energia.

**Os produtos são:**

- Duráveis e reutilizáveis.
- Fáceis de desmontar, reparar e remontar.
- Mínima e adequadamente embalados para distribuição, usando-se materiais reutilizáveis ou reciclados e recicláveis.

**Acima de tudo, os sistemas de Produção Limpa:**

- Não são poluentes em todo seu ciclo de vida útil.
- Preservam a diversidade na natureza e na cultura.
- Garantem às gerações futuras a satisfação de suas necessidades.

**O ciclo de vida útil inclui:**

- Fase de projeto de produto/tecnologia;
- Fase de seleção e produção de matéria prima;
- Fase de fabricação e montagem de produto;
- Fase de distribuição e comercialização;



- Fase de uso do produto pelo consumidor;
- Gerenciamento social dos materiais ao fim da vida útil do produto.

## 2. 5. 2 - Etapas da produção limpa

Segue de forma resumida alguma das etapas da produção limpa, haja vista que alguns dos conceitos já foram tratados.

### **Mudando o processo de produção**

A Produção Limpa é tanto um processo quanto um objetivo. O primeiro passo para esse objetivo é mudar o processo de produção. Isso inclui melhorias na manutenção (evitando vazamentos e derramamentos), redução no uso de substâncias tóxicas e introdução de sistemas de reciclagem para reutilização de águas servidas ou energia térmica, que de outra forma seriam dissipadas. Essas medidas iniciais podem ser implementadas sem custo ou com baixo investimento e com economia considerável. Na Polônia, por exemplo, o programa de produção mais limpa mostrou que são possíveis reduções de 20 a 25% nas emissões com pouco ou nenhum custo.

Uma pesquisa da Universidade Erasmus, da Holanda, de 1992, revelou que aproximadamente 70% dos resíduos e emissões atuais dos processos industriais podem ser evitados na origem, pela utilização de procedimentos e tecnologias tecnicamente melhores e economicamente lucrativos, já disponíveis.

### **Mudança do produto**

Enquanto se mudam os processos de produção, a transição para a Produção Limpa também requer o exame do produto. Apesar de tradicionalmente o projeto técnico de um produto visar a minimizar custos de produção, a sociedade de hoje deve passar à 'contabilidade de custo total' como forma de compreender os custos ambientais, sociais e monetários do esgotamento de recursos e da geração de resíduos.

- *Projeto para o consumo reduzido de recursos*

O projeto visa reduzir a quantidade de materiais consumidos e favorece materiais recicláveis ou renováveis

- *Projeto para prolongar a vida útil do produto*

As opções de projeto consideram a durabilidade dos materiais e o uso de componentes que podem ser substituídos com facilidade e up-grades que encorajem o uso por longo prazo.

## **2. 6 - Alguns Exemplos de Ações Tomadas por Empresas**

Cabe agora citar alguns casos em que as ações e metodologias sugeridas foram aplicadas com sucesso. Durante a pesquisa foram selecionadas as empresas FIAT, SCANIA e BMW, certamente conhecidas nacional e internacionalmente, sendo que esta última já foi citada neste estudo.

### **2. 6. 1 - FIAT**

Segundo a revista Saneamento Ambiental (1998), a FIAT vem desenvolvendo projetos na área ambiental com bastante êxito. A poluição atmosférica ganhou atenção da montadora. Nos setores de pintura, secagem e solda, os gases produzidos são coletados, filtrados e purificados por equipamentos de última geração. Após esse processo, o ar que retorna à atmosfera encontra-se completamente livre de solventes e gases poluentes. A eficiência desse equipamento, cujo custo alcançou US\$ 11,5 milhões, chega a 100%.

O programa seletivo da montadora é baseado nos cinco "S" representados pelos "sensos" da conceituação de origem japonesa: organização, participação, simplificação, limpeza e conservação. A Fiat inovou ao acrescentar três "R": redução na geração de resíduos; reutilização dos resíduos ao máximo; e reciclagem, o material reciclado passa a ser usado como matéria-prima para a fabricação de outros produtos.

Para um executivo da empresa, "o segredo de um bom gerenciamento de resíduos sólidos numa empresa está na separação, desde a geração até o destino final, o que significa economia de recursos".

Se ainda restava alguma dúvida sobre a importância da reciclagem, provavelmente ela será sanada com as seguintes informações: para cada carro produzido (com peso entre 900 kg a 1 tonelada) são gerados 300 kg de resíduos sólidos: papel, papelão, madeira, chapas, isopor, borras de fosfato. Para racionalizar a produção foram desenvolvidos programas que possibilitam a reciclagem de 17 mil toneladas de resíduos por mês. As sucatas metálicas voltam para a fundição onde são reprocessadas, retornando como matéria-prima; papel e papelão são encaminhados aos fornecedores, que após a reciclagem recolocam o produto no mercado na forma de embalagem. O plástico é processado na Ilha Ecológica, local para onde convergem todos os resíduos, através de empacotamento e encaminhamento como matéria-prima para a indústria do plástico. O isopor é transformado em matéria-prima para a indústria de canetas, saltos de sapato, carretéis etc. Com essas iniciativas a montadora conseguiu reciclar 90% dos resíduos produzidos. Os resíduos não-recicláveis – cerca de 8% - são encaminhados para fossas ou incineradores e os originários do consumo doméstico para aterros.

Os modelos Fiat têm sido produzidos com crescentes índices de materiais reciclados. O Grupo Fiat desenvolveu o programa Fare – Fiat Auto Recycling - já aplicado na sede do grupo na Itália. A fábrica de Betim aboliu os gases CFC e o chumbo na fabricação de carroceria. Toda a linha Palio foi projetada para ser montada e desmontada, enquanto as peças plásticas com peso superior a 300 g são marcadas para facilitar a separação de plásticos reaproveitáveis dos não-reaproveitáveis no desmanche, facilitando a reciclagem.

Através de parcerias, a Fiat pretende montar, na Grande Belo Horizonte, o Centro Piloto de Desmontagem de Veículos adotando o programa Fare. Uma motivação para o empreendimento é o fato de que algumas peças plásticas podem ser reutilizadas até três vezes.

Outra novidade é a implantação, no Brasil, de um projeto realizado com sucesso na Itália: carros elétricos. O programa atende por nome de "Estacionamento Ecológico" e prevê o aluguel de automóveis elétricos com livre acesso a áreas proibidas a veículos movidos por combustíveis poluentes. O objetivo desse programa é reduzir o número de automóveis nas zonas consideradas críticas sob o ponto de vista de poluição atmosférica sem afetar o livre acesso da população. A iniciativa, que será desenvolvida em parcerias com as prefeituras de Curitiba e Belo Horizonte, prevê a implantação, num primeiro momento, de três modelos, além de estação para recarregamento de energia.

## 2. 6. 2 - SCANIA

A SCANIA (veja site <http://www.scania.com.br/brasil/ambiente/filosofia.htm>) tem por objetivo diminuir o impacto ambiental de seus produtos ao longo de todo o ciclo de vida. Produtos mais limpos, produção mais limpa e uma utilização mais eficiente dos recursos são temas centrais nas discussões internas. Cada contribuição individual é avaliada, não importa quão pequena pareça. O modelo da SCANIA parece-se com a "Política de Produto Integrado" (PPI) que a União Européia (UE) está praticando atualmente.

**Pesquisa e desenvolvimento** - O resultado final nunca será melhor do que o permitido pelo projeto. Mais de 90% do impacto de um veículo SCANIA sobre o meio ambiente ocorre durante sua vida útil. Deste modo, é importante introduzir os aspectos ambientais diretamente no estágio de desenvolvimento, tornando possível, assim, diminuir a quantidade de material utilizado e o consumo de combustível, bem como reduzir as emissões ao longo de toda a vida útil de um veículo.

**Reciclagem** - A SCANIA prima pelo "projeto para reciclagem". Isso significa que um veículo é projetado para uma desmontagem e reparos mais simples e mais eficientes, tornando possíveis uma melhor reutilização e reciclagem dos produtos.

**Seleção e aquisição de materiais** - A SCANIA está trabalhando para eliminar os materiais inadequados antes deles serem homologados, sem sacrificar a qualidade e desempenho de processos e produtos. Como consequência, a empresa está cada vez mais atenta ao trabalho ambiental de seus fornecedores.

**Trabalho ambiental estratégico** - Manter juntos todos os elementos do ciclo de vida exige uma filosofia que integre todo o processo. Isso, por sua vez, exige um sistema de gestão que utilize uma abordagem holística. A SCANIA opera de acordo com a norma ISO 14001, pela qual é certificada.

**Serviços e manutenção** - Os serviços executados de maneira adequada são importantes para preservar as características ambientais de um veículo. A base para tornar isso possível é estabelecida durante o desenvolvimento de novos veículos. Mais de 1.500 pontos de assistência técnica em todo o mundo operam com o mesmo princípio.

**Fabricação** - Trabalhando sistematicamente por meio de sistemas de gerenciamento, desenvolvendo novas tecnologias e melhorando os processos existentes, a SCANIA procura tornar mais eficiente a utilização de recursos naturais, ao mesmo tempo em que minimiza emissões e a geração de resíduos.

**Vida útil** - A SCANIA ajuda seus clientes a escolher o veículo correto para uma determinada necessidade de transporte. Otimizando fatores como a cabina e o motor a partir do momento da compra, os clientes economizam peso e, deste modo, combustível ao longo de toda a vida útil do veículo. A SCANIA também oferece informações sobre as características ambientais do veículo, treinamento do motorista, programas de assistência técnica, etc.

Estes e outros projetos estão servindo de inspiração para que grandes e pequenas empresas percebam que é possível desenvolver seus produtos reduzindo ao máximo as agressões ao meio ambiente.

## **2. 7 – Considerações**

A Avaliação do Ciclo de Vida é uma importante ferramenta para o desenvolvimento de um produto ecologicamente correto. Com ela, pode-se estudar o comportamento ambiental do produto em todas as suas fases de vida, porém, caso haja falta de foco na análise, pode-se iniciar um processo caro, longo e ineficaz, devido à grande abrangência do tema.

Para o caso deste estudo, a concentração dar-se-á na desmontabilidade de um produto manufaturado, pré-requisito importante para a reciclagem de peças e de materiais. O campo de aplicação deste estudo envolve a última fase do ciclo de vida de um refrigerador doméstico. As estratégias de projeto servirão como base para o desenvolvimento e análise da desmontagem de um refrigerador doméstico.

### 3 - DESMONTAGEM DE UM REFRIGERADOR DOMÉSTICO

#### 3.1 – O Produto

O produto a ser avaliado é um refrigerador doméstico 1 porta, 293 litros, 220 volts da marca Consul, uma das marcas pertencentes à empresa MULTIBRAS, que doou um refrigerador novo para que fosse executado o estudo da desmontagem.

#### 3.2 – Desmontagem

Tendo em vista todos os questionamentos citados nos capítulos anteriores e todas as situações relacionadas com o não reaproveitamento sistemático dos produtos manufaturados, foi feita a desmontagem manual do refrigerador Consul (Fig. 3.1) para fins de avaliar a dificuldade de desmontagem do produto e a viabilidade de aproveitamento de subconjuntos e reciclagem de componentes e materiais do produto.



Figura 3.1: Refrigerador Consul utilizado no estudo

### 3. 2. 1 – Desmontagem do produto

Nesta fase é importante saber o que separar e a sua necessidade de desmontagem, quais são os destinos possíveis dos materiais a serem desmontados e qual deve ser o grau de desmontagem. Nem sempre será necessário chegar na reciclagem do material básico, pode-se aproveitar conjuntos de um produto manufaturado, como um compressor, para o caso do refrigerador, ou pode-se ainda tentar aproveitar outras peças.

De acordo com István (1996), pesquisadores do CLEANTECH (Associação que desenvolveu estudos sobre a desmontagem de refrigeradores domésticos) elaboraram um método para análise comparativa dos gráficos de desmontagem e montagem dos produtos. Eles constataram que a parte mais valorosa (compressor) compensa o reuso e o reparo. Os outros componentes depois da desmontagem estão prontos para a reciclagem.

### 3. 2. 2 – Desenvolvimento da linha de desmontagem

Universidades de Alemanha e Estados Unidos vêm pesquisando a sistematização do processo de desmontagem onde são desenvolvidos equipamentos que facilitem a execução do processo. Algumas empresas como a BMW, a LEHEL e a FIAT também vêm investindo neste sentido. Um sistema de desmontagem para refrigeradores domésticos da LEHEL foi desenvolvido pela equipe da BAYLOGI e University of Miskolc. As pesquisas desenvolveram ferramentas especiais e equipamentos relacionados ao sistema que são próprios para remover a espuma isolante do revestimento de boilers e de refrigeradores. [CSER, 1996]

O processo de desmontagem de refrigeradores usados proposto pela equipe da BAYLOGI e University of Miskolc é o seguinte:

1. Remoção e seleção de prateleiras, gavetas e peças internas;
2. Corte dos cabos elétricos do compressor e do capilar;
3. Remoção da armação superior. (com posterior desmontagem);



4. Remoção das portas, afrouxando ou cortando as dobradiças. (com posterior desmontagem delas);
5. Extração do *freon* com equipamento especial;
6. Remoção dos elementos elétricos internos;
7. Remoção do compressor com ferramenta especial;
8. Remoção do condensador dos tubos do evaporador;
9. Remoção do evaporador;
10. Remoção do painel de deslizamento;
11. Separação da capa plástica interna;
12. Transporte dos materiais selecionados às estações de coleta;
13. Empilhamento de unidades no terminal de transporte nas estações de coleta;

A proposta feita por István (1996), foi utilizada como base para desmontagem do produto em questão, haja vista que ambas as situações tratam da desmontagem de refrigeradores domésticos.

### **3. 3 - Desmontagem Prática**

O roteiro apresentado no item anterior serviu como base de orientação da desmontagem do refrigerador Consul em estudo. As ferramentas utilizadas foram manuais sem que houvesse a necessidade da preparação de um ferramental diferente daqueles costumeiramente encontrados no mercado. A cronometragem se deu do momento em que se propunha a fazer cada tarefa, até a finalização da separação de um componente. Como limitação da cronometragem, aparece a execução de um único experimento, sendo prejudicada por quaisquer variações pontuais, além de não ter sido considerado o efeito aprendizagem do operador da desmontagem.

Para diferenciar cada tarefa de desmontagem, foi criada uma escala de graus de dificuldade variando de 1 (um) a 5 (cinco) onde:

0. Extremamente fácil;
1. Muito fácil;
2. Fácil;
3. Difícil;
4. Muito difícil;
5. Extremamente difícil.

Com base nesta escala e na percepção durante a execução da desmontagem, foram atribuídos os graus de dificuldade para cada fase de desmontagem.

A desmontagem do refrigerador em questão segue a seguinte seqüência lógica de etapas:

1 – Remoção das prateleiras gavetas e peças internas

**Tempo de duração do processo:** 51 segundos

**Ferramentas utilizadas:** não foi utilizada nenhuma ferramenta, limitando as ações à retirada manual.

**Grau de dificuldade:** 1.

**Comentários:** A retirada em série aceleraria bastante o processo, haja vista que o operador já saberia exatamente a maneira como proceder à desmontagem das peças em questão. Além de que a separação dos elementos em grupos de materiais distintos já estaria predeterminada.



Figura 3.2: Peças Internas do refrigerador

2 – Corte e retirada do cabo elétrico do compressor.

**Tempo de duração do processo:** 13,73 segundos

**Ferramentas utilizadas:** Chave de fenda e alicate de corte

**Grau de dificuldade:** 1.

**Comentários:** A localização dos itens a serem cortados foi simples e rápida.

3 – Corte do Capilar do Compressor

**Tempo de Duração do Processo:** 20 segundos

**Ferramentas utilizadas:** Alicate de Corte

**Grau de Dificuldade: 5.**

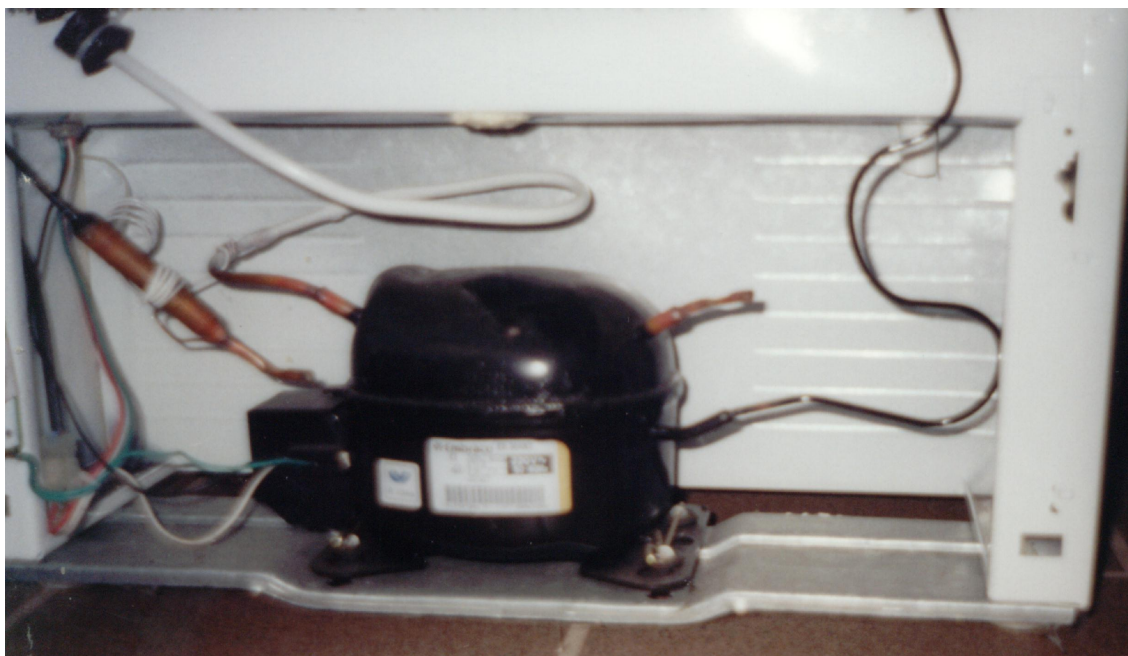


Figura 3.3: Compressor ainda no refrigerador

**Comentários:** Para este caso, ferramentas industriais seriam mais apropriadas principalmente em função da retirada do gás refrigerante. Aqui vem um ponto importante, pois muitos dos gases ainda hoje utilizados são prejudiciais à camada de ozônio.

4 - Remoção da parte plástica superior

**Tempo de Duração do Processo:** 45 segundos

**Ferramentas utilizadas:** Chaves de fenda e chave canhão

**Grau de Dificuldade: 2.**

**Comentários:** Neste caso, novamente, as ferramentas industriais agilizariam o processo. Se ao invés de ferramentas manuais, tivessem sido utilizadas ferramentas pneumáticas ou até mesmo elétricas, certamente o tempo necessário seria menor, bem como o grau de dificuldade diminuiria.

## 5 – Remoção da porta

### 5.1 – Retirada da porta

**Tempo de Duração do Processo:** 1 min e 10 segundos

**Ferramentas utilizadas:** Chave de fenda e chave canhão sextavada

**Grau de Dificuldade:** 2.

**Comentários:** Cabe aqui também o uso de uma ferramenta industrial. Deve-se retirar também o suporte de mudança de lado da porta.

### 5.2 – Retirada da borracha de vedação

**Tempo de Duração do Processo:** 50 segundos

**Ferramentas utilizadas:** Somente as mãos

**Grau de Dificuldade:** 1.

**Comentários:** A borracha fica presa entre o plástico interno da porta e o poliuretano, que vem colado na borracha. Apesar de não representar uma dificuldade para a desmontagem, há uma dificuldade para a reciclagem, e também para a manutenção, pois a troca da borracha é uma troca destrutiva. Este fato compromete a vida útil do produto, pois pode se limitar ao tempo de vida da borracha, haja vista que, após a troca da borracha, o produto dificilmente manterá suas características originais de vedação.

### 5.3 – Retirada do parafuso da parte superior da porta

**Tempo de Duração do Processo:** 50 segundos

**Ferramentas utilizadas:** Chave de fenda e chave canhão

**Grau de Dificuldade:** 2.

**Comentários:** Aqui, como em todos os casos de desaparafusamento, a operação manual é bastante lenta.

### 5.4 – Retirada da capa plástica (Poliestireno)

**Tempo de Duração do Processo:** 5 minutos e 50 segundos

**Ferramentas utilizadas:** Lâmina metálica e chaves de fenda

**Grau de Dificuldade:** 3.



Figura 3.4: Porta e capa plástica interna desmontada

**Comentários:** Devido aos relevos da camada plástica da porta, a retirada manual também é dificultada. O poliuretano utilizado como isolamento invade todas as reentrâncias do plástico, deixando o conjunto bastante compacto.

#### 5.5 – Retirada das extremidades plásticas da porta (puxadores)

**Tempo de Duração do Processo:** 1 minuto e 40 segundos

**Ferramentas utilizadas:** Processo manual

**Grau de Dificuldade:** 2.

**Comentários:** Este processo pode ser facilitado com a utilização de alavancas ou garras.

#### 5.6 – Retirada do poliuretano da porta

**Tempo de Duração do Processo:** 29 minutos e 7 segundos

**Ferramentas utilizadas:** Formão, espátula e martelo

**Grau de Dificuldade:** 5.

Figura 3.5: Capa metálica externa da porta após a retirada do poliuretano.

**Comentários:** O processo de separação do poliuretano que serve como isolamento do aço da parte externa da porta merece um estudo desde o projeto do produto, a fim de avaliar o grau de dificuldade de sua desmontagem. A metodologia de desmontagem aqui utilizada foi muito arcaica, devendo ser estudada uma maneira mais racional da retirada do poliuretano. O grande problema nesse caso é que a chapa de aço utilizada passa por um tratamento superficial em que o poder de aderência do poliuretano nela é melhorado consideravelmente. A chapa recebe uma camada de *primer*, que garante a adesão do poliuretano à chapa de aço.



6 – Retirada da porta separadora do congelador e do refrigerador

**Tempo de Duração do Processo:** 3 segundos

**Ferramentas utilizadas:** Processo manual

**Grau de Dificuldade:** 1.

**Comentários:** Este processo pode ser feito juntamente com a retirada das partes móveis internas.

7 – Retirada do evaporador e do condensador



Figura 3.6: Evaporador (já retirado) e condensador

**Tempo de Duração do Processo:** 5 minutos

**Ferramentas utilizadas:** Serra manual, alicate de corte, chave de fenda e operações manuais

**Grau de Dificuldade:** 4.

**Comentários:** A dificuldade aqui se encontra no fato de não se conhecer os esquemas de montagem do produto, fato que não ocorreria no caso de uma



desmontagem planejada. Em função da não drenagem do gás refrigerante pode haver algum vazamento nesta fase. Se houver a intenção de reaproveitamento de qualquer uma das partes aqui desmontadas, deve-se manusear as partes com bastante cuidado, em virtude de sua fragilidade.

#### 8 – Retirada dos elementos elétricos internos

**Tempo de Duração do Processo:** 4 minutos e 48 segundos

**Ferramentas utilizadas:** Alicate de corte e chave de fenda

**Grau de Dificuldade:** 3.

**Comentários:** Nesta fase também houve necessidade de tomar muito cuidado, em função do possível aproveitamento das partes aqui retiradas.

#### 9 – Retirada do suporte do condensador

**Tempo de Duração do Processo:** 1 minuto

**Ferramentas utilizadas:** Alicate

**Grau de Dificuldade:** 1.

**Comentários:** Esta fase é bastante simples, com apenas uma pequena dificuldade: a necessidade de girar o suporte para facilitar a retirada dele, o que necessitou alguma força.

#### 10 – Retirada dos pés da geladeira

**Tempo de Duração do Processo:** 20 segundos

**Ferramentas utilizadas:** operação manual

**Grau de Dificuldade:** 1.

**Comentários:** Aqui foi preciso simplesmente desenroscar os quatro pés da geladeira.

#### 11 – Retirada da base e do compressor

**Tempo de Duração do Processo:** 50 segundos

**Ferramentas utilizadas:** Chaves de boca e fenda

**Grau de Dificuldade:** 2.

**Comentários:** A dificuldade aqui foi puramente ergonômica, em função da posição que o operador precisou ficar para a retirada desse componente. Uma bancada deixando o refrigerador ao alcance fácil do operador facilitaria o processo, exatamente como é feito no processo de montagem, onde o operador não precisa se abaixar para executar a tarefa.

12 – Retirada dos apoios da porta e do evaporador

**Tempo de Duração do Processo:** 1 minuto e 3 segundos

**Ferramentas utilizadas:** Chave de fenda

**Grau de Dificuldade:** 2.

**Comentários:** Uma ferramenta elétrica ou pneumática aceleraria o processo.

13 – Retirada de uma placa inferior frontal

**Tempo de Duração do Processo:** 20 segundos

**Ferramentas utilizadas:** Alicates e chave de fenda (como alavanca)

**Grau de Dificuldade:** 1.

**Comentários:** Um processo construtivo onde uma chapa é cravada em outra chapa, tornando a desmontagem simples e ao mesmo tempo deixando os componentes unidos de acordo com o esperado.

14 – Retirada do cabo de força

**Tempo de Duração do Processo:** 6 segundos

**Ferramentas utilizadas:** Operação manual

**Grau de Dificuldade:** 1.

15 – Desmontagem do corpo do refrigerador – incluindo a separação da parte plástica interna e do isolamento e separação do isolamento e da chapa de aço

**Tempo de Duração do Processo:** 55 minutos e 15 segundos

**Ferramentas utilizadas:** Alicates, formão, martelo, facão, chave de fenda e enxada

**Grau de Dificuldade:** 5.

**Comentários:** A separação do poliuretano da chapa de aço é extremamente difícil e não é completa, haja vista a existência de poliuretano grudado na chapa mesmo após inúmeras raspagens. Para agilizar o processo, utilizou-se uma enxada para que pudessem ser aplicados golpes com mais força, separando os materiais em questão com maior rapidez.

### **3. 4 – Pesagem do material separado**

Após a desmontagem, os materiais foram separados em grupos de mesmas características, sendo pesados em seguida.

Os resultados da pesagem dos materiais podem ser vistos na figura 3.8.

O gráfico da figura 3.9 permite a visualização das proporções dos materiais separados do refrigerador.



Figura 3.7: Chapa de aço do corpo do refrigerador durante a retirada do poliuretano

Material	Peça	Massa (kg)
<b>Aço</b>	Cantoneiras	0,810
	Lateral em “U”	10,050
	Porta	4,470
	Chapa do fundo	1,235
	Chapa de suporte do compressor	1,650
	Chapa de união da estrutura	1,450
	Grades de prateleiras	2,350
	<b>Total</b>	<b>22,015</b>
<b>Poliestireno – PS</b>	Corpo plástico interno	3,680
	Plástico interno da porta	1,315
	Proteção plástica superior	1,195
	Porta do congelador	0,655
	Bandeja do congelador	0,930
	Plástico de apoio das grades	0,100
	Suporte para lâmpada e termostato	0,080
	Gavetas internas	4,970
	<b>Total</b>	<b>12,925</b>
<b>Alumínio</b>	Evaporador	1,255
	<b>Total</b>	<b>1,255</b>
<b>Cobre</b>	Condensador com filtro	2,200
	Fiação elétrica	0,200
	Tubulação de gás	0,160
	<b>Total</b>	<b>2,560</b>
<b>ABS</b>	Arestas das portas	0,370
	<b>Total</b>	<b>0,370</b>
<b>Poliuretano</b>	Isolamento	4,820
	<b>Total</b>	<b>4,820</b>
<b>Polímeros diversos</b>	Borracha passante	0,015
	Dreno	0,005
	Miudezas	0,010
	Borracha imantada da porta	0,280
	Borracha de vedação	0,400
	Chapa plástica ondulada	0,235
	Espuma de proteção dos fios	0,030
	Pés e suportes de fixação	0,120
	<b>Total</b>	<b>1,095</b>
<b>Metais diversos</b>	Parafusos suportes e miudezas metálicas	0,260
	<b>Total</b>	<b>0,260</b>
<b>Subconjuntos</b>	Termostato	0,090
	Compressor com gás	7,610
	<b>Total</b>	<b>7,700</b>

Figura 3.8: Massas do material

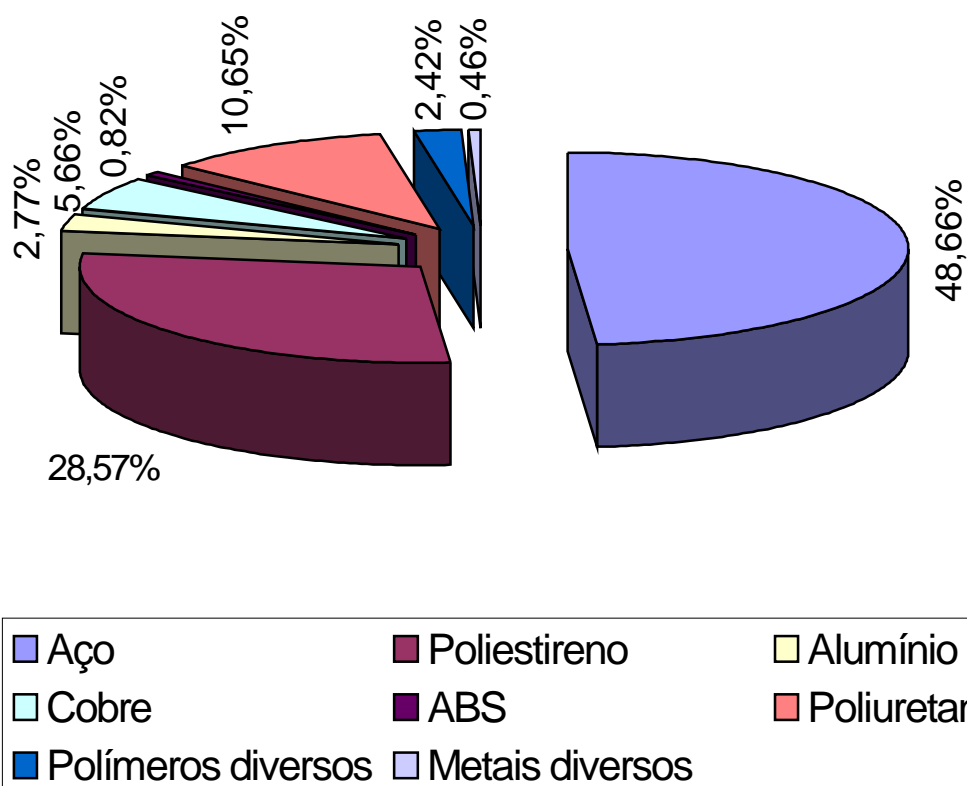


Figura 3.9: Percentuais de massa por material

Os preços dos materiais retirados do refrigerador foram pesquisados em alguns estabelecimentos de compra e venda de sucatas do estado de Santa Catarina e até mesmo de fora do estado através de *sites da internet*. Os preços médios podem ser vistos na figura 3.11, que mostra qual seria o retorno financeiro da venda dos materiais separados. O gráfico da figura 3.10 contribui para a melhor visualização das proporções de retorno de venda de cada um dos materiais separados do refrigerador.

O aço, seguido do poliestireno é, em massa, o material que se apresenta em maior quantidade. Já em termos de retorno financeiro, o compressor, que não precisou ser desmontado, lidera a lista, seguido do cobre. Os materiais encontrados em menor quantidade foram agrupados em dois subconjuntos, um de metais e outro de polímeros, ambos com valor comercial.

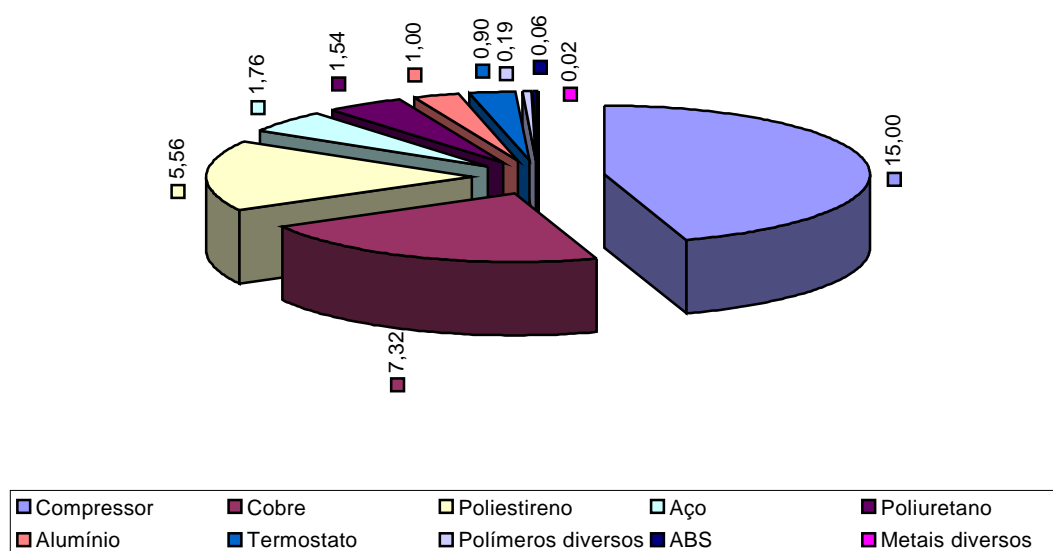


Figura 3.10: Retorno da venda dos materiais

Material	Massa (kg)	Percentual de Massa dos Materiais Recicláveis	Preço R\$/kg ou /unidade	Preço Total R\$
Cobre	2,560	5,66%	2,86	7,32
Poliestireno	12,925	28,57%	0,43	5,56
Aço	22,015	48,66%	0,08	1,76
Poliuiretano	4,820	10,65%	0,32	1,54
Alumínio	1,255	2,77%	0,8	1,00
Polímeros diversos	1,095	2,42%	0,17	0,19
ABS	0,37	0,82%	0,17	0,06
Metais diversos	0,206	0,46%	0,08	0,02
<b>Sub Total</b>	<b>45,246</b>	<b>100%</b>		<b>17,45</b>
Termostato	0,090	-	0,30	0,90
Compressor	7,000	-	15,00	15,00
<b>Total</b>	<b>52,345</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>33,35</b>

Figura 3.11: Preços dos materiais e subconjuntos recuperados.

Ao observar os comentários de cada um dos passos da desmontagem, percebe-se que se pode fazer algumas sugestões que possam facilitar o processo de desmontagem do produto, podendo realimentar o projeto do produto a fim de que ele se adeque cada vez mais às novas necessidades e exigências do mercado consumidor e pressões sociais. A realimentação do projeto pode ser uma ferramenta que traga o diferencial ambiental esperado para o desenvolvimento do produto ecológico almejado pela sociedade.

Com os dados colhidos neste capítulo pode-se simular estudos comparativos entre o processo aqui utilizado e os procedimentos industriais que serão estimados na seqüência deste estudo.

### **3. 5 – Análise da Desmontabilidade do Refrigerador Doméstico**

Com o ensaio de desmontagem relatada nos itens anteriores pode-se projetar comparativos de despesas de mão de obra de desmontagem com as despesas de mão de obra em uma linha de desmontagem utilizando ferramentas industriais.

As atividades podem ser divididas em atividades padrões, como desaparafusar, serrar, lixar etc. Para calcular o tempo que seria gasto com a desmontagem do produto utilizando ferramentas industriais, pode-se simular e cronometrar a execução dessas atividades e gerar um fator de correção entre a desmontagem manual e a desmontagem mecanizada.

#### **3. 5 . 1 - Cálculos comparativos entre atividades manuais e atividade com ferramental elétrico e pneumático**

Para chegar ao fator de correção citado no item anterior, fez-se um ensaio com atividades manuais e atividades com ferramentas industriais. O ensaio foi feito com ações que se assemelham a ações de desmontagem do produto, como por exemplo: aparafusar, lixar e cortar. Cada uma das atividades apresenta um grau de dificuldade de execução que varia de acordo com os critérios utilizados no item 3.3 deste estudo. O resumo desse ensaio comparativo pode ser visto na figura 3.12. Os tempos apresentados no quadro representam a média de uma série de experimentos realizados com as ferramentas elétricas, pneumáticas e manuais. Em função da disponibilidade de material e de ferramentas elétricas e pneumáticas para a realização do ensaio, foram feitos dez ensaios para cada uma atividade e atribuído um tempo médio em segundos.



<b>Atividade</b>	<b>Grau de Dificuldade (gi)</b>	<b>Tempo com as Ferramentas Elétricas ou Pneumáticas (ti<sub>1</sub>)</b>	<b>Tempo com as Ferramentas Manuais (ti<sub>2</sub>)</b>
Aparafusar 10 parafusos M4 de 16mm (Fenda)	3	25 s	91 s
Aparafusar 10 parafusos M4 de 16mm (Sextavado)	3	19 s	82 s
Lixar uma chapa metálica pintada (500 x 500mm)	5	57 s	275 s
Cortar cinco chapas de aço (20 x 300 x 3mm) ao meio, no sentido dos 20mm.	1	17 s	137 s

Figura 3.12: Comparativo de tempos entre ferramentas manuais e automáticas

O grau de dificuldade será considerado um peso para o tempo de cada tarefa, se tornando um fator multiplicativo para este tempo, tornando mais próximo do real o fator de correção que será dado pela formula seguinte:

$$R = \left( \sum_{i=1}^n ti_1gi_1 \right) / \left( \sum_{i=1}^n ti_2gi_2 \right)$$

$$R \approx 0,21.$$

Ao utilizar uma planta com ferramentas adequadas pode-se agilizar a desmontagem. O comparativo pode ser visto na figura 3.13.

	TAREFA	TEMPO COM FERRAMENTAS MANUAIS (s)	TEMPO COM FERRAMENTAS ELÉTRICAS OU PNEUMÁTICAS (s)
1	Remoção de Prateleiras, Gavetas e Peças Internas	51	10,7
2	Corte do Cabo Elétrico do Compressor	13,73	2,9
3	Corte do Capilar do Compressor	20	4,2
4	Remoção da Parte Plástica Superior	45	9,5
5	Remoção da Porta	70	14,7
5.1	Retirada da Borracha	50	10,5
5.2	Retirada do Parafuso da Parte Superior da Porta	50	10,5
5.3	Retirada da Capa plástica	350	73,5
5.4	Retirada dos Puxadores	100	21,0
5.5	Retirada do Poliuretano da Porta	1747	366,9
6	Retirada da Porta do Congelador	3	0,6
7	Retirada do Evaporador e do Condensador	300	63,0
8	Retirada dos Elementos Elétricos Internos	288	60,5
9	Retirada do Suporte do Condensador	60	12,6
10	Retirada dos Pés	20	4,2
11	Retirada da Base do Compressor	50	10,5
12	Retirada dos Apoios da Porta e do Evaporador	63	13,2
13	Retirada da Placa Inferior Frontal	20	4,2
14	Retirada do Cabo de Força	6	1,3
15	Desmontagem do Corpo do Refrigerador	3315	696,2
		6.621,73	1.390,56

Figura 3.13: Aplicação do fator de correção para a desmontagem prática

Levando em consideração os custos de mão de obra na desmontagem de sete reais por hora (R\$7,00/h), valor encontrado em uma empresa da região norte de Santa Catarina, ter-se-á uma diferença significativa entre os dois processos, como pode ser visto na figura 3.14.

<b>Tempo do Processo Manual</b>	<b>Tempo do Processo com Ferramentas Industriais</b>
1,84 h	0,39 h
R\$ 12,88	R\$ 2,70
<b>Diferença de R\$ 10,18/produto</b>	

Figura 3.14 – Diferença de custos de mão de obra entre os processos com ferramentas manuais e com ferramentas elétricas ou pneumáticas

Ao comparar simples e diretamente os custos de mão de obra e o retorno da venda dos materiais, desconsiderando os custos de implantação e os custos de depreciação e manutenção dos equipamentos, observa-se que, para o caso industrial, o retorno é de R\$ 30,65 (trinta reais e sessenta e cinco centavos) por refrigerador desmontado, considerando que todos os materiais podem ser vendidos e que há mercado para eles. Um fato que deve ser levado em consideração diz respeito à qualidade dos materiais separados na desmontagem do refrigerador, os plásticos, em sua grande maioria, ficam limpos após a separação, fator que pode aumentar o valor de venda do material reciclável, pois pode eliminar a etapa de limpeza da estação de reciclagem.

Para considerar os custos de implantação e manutenção da linha produtiva deve ser feito um estudo dos custos de aquisição e manutenção dos equipamentos além do consumo de energia elétrica. Porém, mesmo não utilizando uma linha com equipamentos elétricos e pneumáticos, tem-se retorno financeiro considerável, na ordem de R\$ 20,47 (vinte reais e quarenta e sete centavos) por refrigerador desmontado.

A proposta de mecanização, levando em consideração o projeto atual, já apresenta vantagens consideráveis para a redução de custos de desmontagem do produto. Porém não é somente este o intuito deste estudo. Durante a desmontagem foram encontradas diversas dificuldades que, se tratadas no escopo do projeto do produto, podem reduzir ainda mais o custo de desmontagem do produto.

### 3. 5. 2 – Dificuldades na desmontagem

No **Passo 3 (Corte do capilar do compressor)** da desmontagem prática a falta de ferramentas adequadas para a retirada do gás refrigerante e seu aproveitamento

posterior prejudicou sensivelmente o avanço dos estudos no tocante ao aproveitamento do gás refrigerante (R 134a), porém este processo não seria complicado, haja vista a existência de equipamentos comuns no mercado com que poder-se-ia executar esta tarefa.

No **Passo 5.1(Retirada da porta)** a dificuldade se deu em função da ausência de material próprio para desmontagem. Já no **Passo 5.2 (Retirada da borracha de vedação)** verificou-se que a borracha fica presa entre a parte plástica interna e o isolamento poliuretânico, o que leva a concluir que a borracha, item que geralmente é trocado após um determinado tempo de uso do refrigerador, dificilmente poderá ser trocada deixando o produto com a mesma eficiência da montagem original, o que depõe contra a durabilidade do produto, ponto que já foi defendido neste estudo. No **Passo 5.3 (Retirada da capa plástica)** os relevos da parte interna da porta dificultam o trabalho manual de retirada devido à invasão do poliuretano nestes relevos, porém não seria difícil a retirada desta capa com a utilização de recursos industriais, como por exemplo, serras circulares que reduziram as áreas a separar.

Os **Passos 5.6 e 15 (Separação da chapa de aço e o poliuretano)** apresentam os maiores problemas para a desmontagem do produto. A chapa de aço utilizada no produto recebe uma camada interna de um *primer* que aumenta a adesão do poliuretano à chapa; é certo afirmar que esta maior adesão gera maior robustez no produto, porém ao levar em consideração o aspecto ambiental tratado neste estudo, é imperativo buscar uma solução que reduza a dificuldade de separação das partes aqui mencionadas.

Em uma pesquisa voltada para a reciclagem de produtos compostos, com ênfase em painéis de sanduíche de poliuretano e aço <sup>1</sup>, Grote, 1997, chegou às seguintes conclusões: as formas de separação de chapas de aço e poliuretano viáveis envolvem a separação mecânica, a térmica ou a eletromagnética, sendo que a forma mais apropriada para continuar as pesquisas seria a mudança na composição do *primer*, a fim de que ele perdesse seu poder adesivo a uma determinada temperatura. Outra alternativa seria pesquisa de novas técnicas de isolamento.

---

<sup>1</sup> O sanduíche de poliuretano tem estrutura similar à estudada no refrigerador, com a diferença de que o painel pode ter uma ou duas faces de aço e o refrigerador possui uma só.

O **Passo 11 (Retirada da base e do compressor)** apresenta dificuldades ergonômicas que podem ser facilmente sanadas na planta de desmontagem, pois o compressor e sua base estão na parte inferior do refrigerador e a sua retirada, caso o refrigerador esteja no nível do solo, é bastante dificultada, porém, com o desenvolvimento de uma planta específica para a desmontagem de refrigeradores, uma bancada especial para esta função não seria de fabricação complexa.

### 3. 5. 3 – Sugestões de modificações do projeto do produto

De acordo com as dificuldades encontradas no decorrer da desmontagem, foram surgindo algumas sugestões para a melhoria do projeto no que diz respeito à melhoria de desmontabilidade, reciclabilidade, enfim, melhorias no sentido ambiental para a fase do desuso. Estas melhorias podem contribuir para que no futuro, o produto agrida menos o ambiente no final de sua vida útil, podendo contribuir até mesmo para a redução das agressões durante a fase do desuso. São elas:

#### – Colocação da Borracha de Vedação da Porta

Como foi citado anteriormente, a borracha de vedação da porta está situada entre o plástico interno da porta e o poliuretano da camada isolante da porta, dificultando a sua troca. Isso nos leva a crer que, caso a borracha perca o seu poder de vedação, dificilmente outra borracha será colocada com a mesma eficiência da primeira, pois a retirada da primeira borracha poderá causar avarias à camada isolante e à sua impermeabilização, além de não possuir mais os mesmos recursos para a sua fixação.

Caso a troca da borracha provoque ineficiência da vedação e da isola ção, o refrigerador irá consumir mais energia do que originalmente se propõe, pois estará trocando calor diretamente com o ambiente. Além da ineficiência energética, o refrigerador sofrerá considerável redução no seu tempo de vida útil, gerando antecipadamente novos resíduos para o ambiente.

#### – Propiciar a separação entre isolamento e chapa de aço na desmontagem

A separação do poliuretano da chapa de aço gerou a maior dificuldade do ensaio desmontagem manual executado neste estudo, pois a “descascagem” mecânica (método utilizado no ensaio) se mostrou bastante ineficiente. Como colocado

anteriormente, a chapa de aço recebe uma pintura na face em que vai receber o poliuretano; o *primer* utilizado aumenta a adesão do poliuretano na chapa de aço, dificultando sensivelmente a desmontagem do produto.

Como o objetivo do projeto para desmontagem é a facilitação da separação dos elementos, surge aqui a necessidade da empresa tomar ações para que estes elementos possam ser separados a um custo menor.

Outras soluções podem surgir, até mesmo uma que propicie a separação dos dois materiais, como um equipamento de separação que utilize rolos abrasivos e consiga separar perfeitamente os produtos sem maiores custos. Pode ser ainda que surja uma solução em que não seja necessária a união direta entre o poliuretano e o aço. Pode-se analisar a possibilidade de utilização de uma camada entre o poliuretano e o aço, onde as propriedades de aderência sejam mantidas durante a utilização do produto e possam ser reduzidas por ação química, térmica ou elétrica no momento da desmontagem.

### 3. 5. 4 – Condição final do material

A desmontagem do refrigerador não se mostrou complexa no sentido de separar os materiais brutos, à exceção da separação do poliuretano e do aço, como mencionado anteriormente. O peso do material separado pode ser vista no item 3.4 deste estudo.

Existem alguns casos em que a desmontagem total de alguns subconjuntos do produto não é necessária, pois tem um tempo de vida útil maior do que o do produto, como é o caso do Compressor, que, de acordo com a Embraco, fabricante do compressor, possui ciclo de vida de aproximadamente vinte anos, podendo ser reutilizado em outros produtos após o final da vida útil do refrigerador, que é de aproximadamente dez anos. E como se viu nos capítulos anteriores, ISTVÁN, 1996 afirma que o compressor é a única peça de valor do refrigerador que compensaria ser reutilizada, as outras devem ser tratadas como matéria prima para reciclagem, o que vem de encontro à informação fornecida pela Embraco.

As partes plásticas, poliestireno e ABS foram facilmente separadas e, devido à sua identificação, facilmente agrupadas em materiais comuns.

O aço apresenta o problema da união com o poliuretano e do acabamento externo, o que dificulta a obtenção da matéria prima pura. A tendência dos projetos é reduzir ao máximo os acabamentos, o que facilitaria a reciclagem dos metais.

O cobre das tubulações é facilmente separado para que possa ser reciclado.

Os parafusos, as porcas e outras peças metálicas são separados com facilidade e podem seguir diretamente para o processo de reciclagem, cada um com os seus materiais correspondentes.

O poliuretano, após a separação complicada com o aço, é facilmente identificado e agrupado para a sua reciclagem.

A parte elétrica também é facilmente separada, a não ser os fios que passam por dentro da camada de poliuretano, que ficam com a sua superfície contaminada com o isolante térmico e provavelmente não serão reaproveitados, porém, o cobre dos fios elétricos permanece intacto.

Outras peças apresentam um percentual de massa muito pequeno se comparados com os materiais supracitados, não justificando maiores análises.

### 3. 5. 5 – Proposta de sistema de desmontagem

De acordo com a tendência mundial, o fabricante é responsável pelo produto até o final de seu ciclo de vida, portanto, a disposição final do produto será de responsabilidade dele. A disposição final de alguns produtos, como as baterias de celulares, já é de responsabilidade de seus fabricantes; sendo apenas uma questão de tempo para que os fabricantes dos outros produtos sejam explicitamente cobrados quanto a essa mesma responsabilidade.

A responsabilidade pela disposição final do produto não é uma penalização ao fabricante, é um ajuste da responsabilidade que deveria ser do fabricante desde a implantação da empresa. Esta responsabilidade pode ainda virar a favor do próprio fabricante, pois poderá servir como um banco de dados com informações valiosas para a elaboração dos novos projetos, além de favorecer no *marketing ecológico*.

Para o caso dos eletrodomésticos, as grandes empresas do ramo possuem redes de assistência técnica por todo o país, as quais podem assumir a responsabilidade da desmontagem dos refrigeradores com investimentos em equipamentos de desmontagem. Caso haja algum impasse para essa proposta, pode-se optar pela ação das redes somente no sentido de receber os produtos no final de seu ciclo de vida, retirar as peças que podem ser reutilizadas em outros produtos, como o compressor, e enviar o material restante para a desmontagem em local apropriado.

Com o crescimento do mercado de reciclagem, pode haver empresas que se interessem pelo serviço de desmontagem para reciclagem. Existem empresas cujo negócio é a reciclagem e elas podem formar parcerias com os produtores de eletrodomésticos.

A grande extensão territorial do nosso país dirige a desmontagem para pólos distribuídos pelas regiões do país, evitando assim o aumento de despesas e a agressão ambiental devida ao transporte dos produtos no final do seu ciclo de vida.

O *lay out* da linha de desmontagem vai depender de vários fatores, dentre eles se a linha vai receber o produto completo, ou sem as peças que podem ser reutilizadas, como o compressor.

### 3. 5. 6 – Limitações do estudo

Pelo fato da desmontagem ter sido feita em um único refrigerador e com ferramentas simples, nem sempre as mais adequadas, os tempos medidos podem não ter sido exatos, o que prejudica uma análise mais aprofundada. Porém, o estudo também objetiva gerar iniciativas de análise por parte das empresas produtoras de bens de consumo, que poderão realizar ensaios mais exatos e utilizar os dados destes ensaios para projetos futuros.

As ferramentas utilizadas na desmontagem dos produtos eram manuais. As empresas que buscam desenvolver um estudo similar a este, certamente terão um laboratório com equipamentos capazes de realizar as tarefas de desmontagem com maior facilidade.



A precisão dos equipamentos de medição utilizada pode variar em função de não terem sido aferidos regularmente.

### 3. 5. 7– Considerações

As sugestões encontradas neste estudo levam em consideração o projeto para a desmontagem, logicamente as modificações propostas só deverão ser realizadas após uma análise em todas as etapas de projeto, incluindo o projeto para a manufatura, para a manutenibilidade etc.

No caso do poliuretano, a montagem do produto é bem facilitada pelo fato do produto ser injetado e se adequar às formas do refrigerador. Qualquer modificação deve levar em consideração que a aderência do polímero às estruturas de aço contribui para a robustez do produto.

Este estudo não engloba o projeto completo do produto, mas pode ser uma ferramenta importante para a adequação do produto às exigências ambientais.

## 4 – CONCLUSÕES

### 4. 1 – Conclusões

O meio ambiente continua a sofrer diversas agressões a todo momento, porém, também a todo momento, novos aliados buscam novas soluções para o problema. Este estudo é um dos aliados ambientais, buscando encontrar soluções para o descarte dos produtos manufaturados, evitando que materiais nobres sejam jogados em lixões, enquanto materiais virgens são extraídos da terra.

A sociedade precisa estar mais atenta aos produtos que consome, deve buscar saber o que ocorre com eles a partir do instante em que sai da sua casa. Muito em breve, o produto deverá conter a informação do local para onde deve ser levado quando deixar de ser usado.

A praticidade da fabricação de um produto não está diretamente ligada à sua facilidade de desmontagem e reciclagem de suas peças e materiais. No caso do refrigerador doméstico, algumas soluções como o *primer*, que garante a adesão do poliuretano na chapa de aço e contribui para a robustez do produto, complica, sensivelmente, a separação do aço e do poliuretano.

A busca de inovação constante no processo produtivo deve ser colocada à disposição do processo de desmontagem dos produtos manufaturados, de forma que a desmontagem gere informações interessantes ao projeto do produto. A visão administrativa das organizações deve incluir a necessidade de reciclar os seus produtos no final do ciclo de vida, mesmo que a reciclagem não gere o retorno nos mesmos níveis dos processos produtivos normalmente executados por elas.

Os custos ambientais devem passar a fazer parte dos projetos de produtos, sendo levados de maneira clara e objetiva para a sociedade, que está cobrando cada vez mais soluções para a não agressão do meio ambiente.

O produto aqui estudado certamente tem alguns pontos a melhorar na praticidade de desmontagem. Apesar de parecerem simples, as modificações aqui propostas

podem envolver várias fases do projeto e do processo. Uma melhoria de desmontagem pode causar complicações na montagem do produto, principalmente para o caso de um produto já em produção, com linhas de injeção de plásticos, montagem etc. prontas e configuradas para a realidade atual. Caso as modificações dos projetos atuais sejam inviabilizadas, é importante a inserção dos temas aqui abordados, nos novos projetos.

A responsabilidade das organizações não se limita apenas na facilitação da desmontagem dos produtos. As plantas de desmontagem ou o gerenciamento dos produtos no final do ciclo de vida, também são de responsabilidade das organizações. O consumidor deve estar muito bem informado quanto ao que fazer com o produto após o seu uso.

No caso aqui estudado, a desmontagem do produto pode apresentar um pequeno retorno financeiro, porém, em outros, isso não é garantido. Entretanto, a desmontagem dos produtos após o final do ciclo de vida, não pode ser visto pelas organizações como um meio de aumentar os seus lucros, mas sim como uma obrigação de preservação das reservas energéticas, materiais e redução da poluição. Isso não quer dizer que as empresas devem assumir este custo, amargando um prejuízo.

Os custos de descarte dos produtos podem ser repassados para os consumidores desde que estejam enxutos e condizentes com o valor ambiental agregado ao produto. As organizações que adotarem esta estratégia devem sinalizar ao consumidor o valor ambiental agregado com o descarte do produto para que ele o perceba da mesma forma que percebe o valor agregado de um ar condicionado em um automóvel e do conforto de uma poltrona. As organizações devem levar em consideração que os consumidores conscientes passarão a exigir produtos com informações sobre o seu descarte, da mesma forma que exigem as informações sobre a assistência técnica e garantia do produto.

Este estudo visou analisar a viabilidade de desmontagem de um refrigerador doméstico e demonstrou, através da desmontagem prática do refrigerador, que a implantação de uma linha de desmontagem pode ser viável tanto utilizando ferramentas manuais quanto utilizando ferramentas elétricas ou pneumáticas. Além

disso, identificou as dificuldades de desmontagem e apresentou sugestões para a facilitação dessa desmontagem.

## **4. 2 - Recomendações**

Todas as iniciativas que facilitem a reciclagem dos produtos são recomendáveis. Mais especificamente recomenda-se para futuros estudos:

Avaliação da logística reversa do processo de reciclagem partindo do fabricante.

Análise de custos de desmontagens, para limitações de etapas, a fim de verificar até onde é viável desmontar.

Desenvolvimento de estudos comparativos, para julgar a viabilidade de facilitadores de desmontagem, comparado com a necessidade de eficiência de montagem.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASIMOV, M. **Introduction to Design: Fundamentals of Engineering Design**. Prentice. Jersey, USA, Hall, 1962.

BACK, N. **Metodologia de Projetos de Produtos Industriais**. Rio de Janeiro. Guanabara Dois, 1983.

BEITZ, W. **Design for material saving**. Materials & Design, Volume, Nº.4, 1994, pp 195-202.

CLEANTECH. **Concepy for logistical an environmental disassembly technologies: ideas and results for re-use**. Bochum , 1997.

COOPER, J. S. **Design for Environment**. UWME Design for Environment. Disponível em:

[http://www.me.washington.edu/~cooperr/Definitions/design\\_for\\_environment.htm](http://www.me.washington.edu/~cooperr/Definitions/design_for_environment.htm).

Acesso em: 16 nov. 2001.

CSER, L. **Design for disassembly technologies of used household appliances concerning recycling and reuse**. Banbury, England, ICED 97, 1997, pp 355-358.

DOWIE-BHAMRA, T. **Design for Disassembly**, Disponível em: <http://www.co-design.co.uk/design.htm>. Acesso em: 16 nov. 2001.

FRANZE, H. **Design for environmental compatibility of automobiles: New life-cycle management tools in the BMW product development process**. Banbury, England, ICED 97, 1997, pp 23-35.

GREENPEACE. **O Que é Produção Limpa?**; outubro de 1997; Disponível em: <http://www.greenpeace.org.br>. Acessado em: 15 jan. 2002.

GROTE, Karl-H, **Product design for recycling of structures with composite material**, Banbury, England, ICED 97, 1997, pp 347-350.

HARJULA, T. **Design for disassembly and the environment**. University of Rhode Island, USA, 1996, pp 109-114.

HIRANO, S, et al., **Engineering Design Education With Respect to Product Life Cycle**, Banbury, England, ICED 97, 1997, pp 526-530.

ISTVÁN, Zs. **Systematic design concerning the recycling**. Proceedings of the 9th Nat. Seminar on Machine Design and product Development, Miskolc, 1996, pp 45-52

JOVAVE, F. **A key issue in product life cycle, disassembly**. Annals of the CIRP, 1993, p 651-658.

JURAN, J. M. **A Qualidade desde o Projeto**. Editora Pioneira, 1992.

LAMBERT, A. J. D. **Optimal Dissassembly**. In: ECO Performance'96, Proceedings on the 3<sup>rd</sup> International Seminar on Life Cycle Engineering CIRP, Zurich, Switzerland, March 1996

MARTINS, C. G. **Um modelo de avaliação do projeto de produto para desmontagem**. 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

MÜLLER, D. H. **Simultaneous consideration of ecological and economical parameters in early stages of product design**. Banbury, England, ICED 97, 1997, pp. 337-342.

MULTIBRAS. **A empresa**. Disponível em: <http://www.multibras.com.br> . Acesso em: 15 jan. 2002.

PAZMINO, A. V. P. M. **Sistemática de projeto conceitual com abordagem modular-ambiental para o desenvolvimento de produtos com aplicação de estudo de caso no retroprojeto de aspirador de pó** . 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

PERRONE, E. **Informativo Ambiental**. Departamento de Biologia – UFES, 1996.

PRATES, G. A. **Ecodesign utilizando QFD, Métodos de Taguchi e DFE** . 1998. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

RAMOS, J. **Alternativas para o projeto ecológico de produtos** . 2001. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

RAVINDRAN, P. **Design for disassembly – Vital to green manufacturing**. Disponível em: <http://sdnp.delhi.nic.in/resources/wastemgt/news/bl-23-05-01-waste.html> . Acesso em: 16 nov. 2001.

REVISTA SANEAMENTO AMBIENTAL. Ano VIII – Maio/junho de 1998, nº 51. Pg.36 a 38.

SCANIA. **Filosofia de Ciclo de Vida é a base**. Disponível em: <http://www.scania.com.br/brasil/ambiente/filosofia.htm>. Acesso em: 15 jan. 2002.

SILVA, E. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação** – Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2001.

SWEATMAN, A. **EcoReDesign Guidelines**, Disponível em: <http://www.cfd.rmit.edu.au/outcomes/erdnews/ERD1/ERDguide.html> . Acesso em: 16 nov. 2001.

SWEATMAN, A. **Integrating design for environment within an environmental management system**. Banbury, England, ICED 97, 1997, pp 619-624.

TIBOR, T. **ISO 14000: um guia para as normas de gestão ambiental** ; Tradução Bazán Tecnologia e Lingüística. – São Paulo: Futura, 1996.

TIPNIS, V. **Envolving inssues in the product life cycle design.** Annals of the CIRP 1993, pp 169-173.

UNITED NATION. **AGENDA 21:** The united Nations Programme o Action from Rio. Rio de Janeiro, 1993.

WEULE, H. **Life-Cycle Analysis – A Strategic Element for Future Products and Manufacturing Technologies.** Annals of the CIRP 1993.

ZÜST, R, **Systems engineering – A methodology for life cycle engineering in interdisciplinary teams.** Banbury, England, ICED 97, 1997, pp 329-336.